BIBLIOTEKA
MUZEUM SLĄSKIEGO
4948
II | 1

Die Erde

von Dr. B. Lindemann

Geologische Kräfte

Dr. B. Lindemann

Die Erde

I. Band

Dr. B. Lindemann

Die Erde

Eine allgemeinverständliche Geologie

Band I

Geologische Kräfte

KOSMOS
GESELLSCHAFT
DER NATURFREUNDE
STUTTGART

Stuttgart
Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde
Geschäftsstelle: Franckh'sche Verlagshandlung

Geologische Kräfte

von

Dr. B. Lindemann

Mit 7 Farbdrucktafeln,
19 Schwarztafeln u. 322 Abbildungen

Stuttgart
Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde
Geschäftsstelle: Franckh'sche Verlagshandlung

Copyright 1912 by
Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

4948,1

Stuttgarter Setzmaschinen-Druckerei Holzinger & Co., Stuttgart.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort IX

Einleitung: Einige Grundbegriffe der Geologie 1

Erster Abschnitt: Weltalter 9
- Diluvium oder Eiszeit 11
- Die Tertiärzeit 14
- Kreide 24
- Jura 28
- Trias 38
- Karbon und Perm 47
- Devon 60
- Silur 63
- Kambrium 68
- Das eozoische und algonkische Weltalter . . 70
- Das azoische Weltalter und der Urzustand der Erde 73

Zweiter Abschnitt: Vulkanismus.
- Die Bedeutung der vulkanischen Erscheinungen 81
- Massige Vulkane 85
- Schichtvulkane 94
- Maare und Explosionsröhren 110
- Die Quelle der vulkanischen Kraft 114

Dritter Abschnitt: Werden und Vergehen im Reich der Gesteine . . . 125
- Aufbau und Entstehung der Granite . . . 126
- Verwandlungen der Granite 136
- Die Verwitterung und ihre Produkte . . . 143
- Bildungsgeschichte der Kalksteine 152
- Karrenfelder und Höhlen. Auflösung des Kalkes 171
- Tongesteine 174
- Tonige Absätze der heutigen Meere . . . 177
- Die Metamorphose der Tongesteine . . . 181

Vierter Abschnitt: Der Kampf zwischen Land und Meer.
- Festländer und Weltmeere 185
- Strandverschiebungen der Gegenwart . . . 198

Fünfter Abschnitt: Das Wasser als zerstörende Macht.
- Die Erosion des fließenden Wassers . . . 209
- Die Erosion der Meeresbrandung 225

Seite

Sechster Abschnitt: Die unterirdischen Gewässer 235
- Das Grundwasser 236
- Die Entstehung der Quellen 241
- Entstehung des Petroleums 250
- Die Mineralstoffe der Quellen 252
- Unterirdische Flüsse. Karstphänomene . . 262
- Die Höhlenflüsse des Karstes 267

Siebenter Abschnitt: Die Gletscher.
- Wie Gletscher entstehen und sich bewegen . . 272
- Die Abschmelzung und ihre Wirkungen . . 280
- Glaziale Ablagerungen 283
- Die Erosion der Gletscher (Exaration) . . 298
- Die Alpenseen 305
- Gletscherkatastrophen 307
- Gletscherschwankungen 310

Achter Abschnitt: Der Wind als geologische Kraft.
- Die Deflation 318
- Äolische Ablagerungen 322
- Der Löß 328

Neunter Abschnitt: Bau der Faltengebirge.
- Eine Reise durch die Alpen 334
- Der Deckenbau der Alpen 345
- Die Faziesbezirke der Alpen 350
- Alte und neue Theorien der Gebirgsfaltung 360

Zehnter Abschnitt: Erdbeben.
- Die Entstehung der Erdbeben 370
- Die geologischen Wirkungen einiger großer Erdbeben 376
- Flutwellen und Seebeben 382
- Fortpflanzung der Erdbeben 384

Sachregister 405

□ □

Verzeichnis der Tafeln.

Farbdrucktafeln

	Seite
Süddeutsche Landschaft zur Jurazeit (Titelbild)	
Mitteleuropäische Landschaft zur Miozänzeit	24
Schwäbische Landschaft zur Keuperzeit	40
Waldmoor der Steinkohlenzeit	48
Bau des Erdkörpers I. nach Stübel, II. nach Wiechert, Johnsen und v. Wolff	72
Karte der Verbreitung der Vulkane	120
Karte der Tiefseesedimente und Meerestiefen. (Doppeltafel)	184

Schwarztafeln

Die Montblanc-Kette vom Mt. Brévent aus gesehen. (Doppeltafel)	304	
Kambrische Versteinerungen		Anhang
Untersilurische Versteinerungen		
Obersilurische Versteinerungen		
Devonische Versteinerungen		
Versteinerungen aus dem Kohlenkalk		
Versteinerungen des marinen Oberkarbons und des produktiven Karbons		
Pflanzen der Steinkohlenzeit		
Permische Versteinerungen		
Versteinerungen aus der alpinen Trias		
Versteinerungen aus der deutschen Trias		
Versteinerungen aus dem schwäbischen Lias		
Versteinerungen aus dem schwäbischen Dogger		
Versteinerungen aus dem oberen Jura		
Versteinerungen aus der unteren Kreide		
Versteinerungen aus der oberen nordeuropäischen Kreide		
Versteinerungen aus der südeuropäischen Kreide		
Versteinerungen des Eozäns und Oligozäns		
Versteinerungen des Miozäns und Pliozäns		

□ □

Verzeichnis der benutzten und zum Weiterstudium empfohlenen Bücher.

S. Arrhenius, Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903.
„ Das Werden der Welten. Leipzig 1907.
A. Baltzer, Das Berner Oberland und Nachbargebiete. (Sammlung geologischer Führer. XI.) Berlin 1906.
R. Beck: Die Lehre von den Erzlagerstätten. 3. Auflage. Berlin 1909.
J. Blaas, Geologischer Führer durch die Tiroler und Vorarlberger Alpen. Innsbruck 1902.
W. Branca: Die Gries-Breccien des Vorrieses als von Spalten unabhängige, früheste Stadien embryonaler Vulkanbildung. Sitzungsberichte der K. Preuß. Akademie der Wissenschaften. Bd. 35. S. 748 ff.
W. Branca u. E. Fraas: Das vulkanische Ries bei Nördlingen in seiner Bedeutung für Fragen der allgemeinen Geologie. Abhandlungen der K. Preuß. Akademie der Wissenschaften 1901. Nr. 1.
R. Brauns: Das Mineralreich. Stuttgart 1904.
H. Credner: Elemente der Geologie. 10. Auflage. Leipzig 1906.
R. Delkeskamp: Fortschritte auf dem Gebiete der Forschung der Mineralquellen. Zeitschrift für praktische Geologie 1908. S. 401 ff.
C. Diener: Der Gebirgsbau der Westalpen. Wien 1891.
S. Günther: Handbuch der Geophysik. 2. Auflage. 2 Bde. Stuttgart 1897—1899.
E. Haug: Les Géosynclinaux et les aires continentales. Bulletin de la Société géologique de France. III. Série. Tome 28. p. 617—711. Paris 1900.
A. Heim: Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.
„ Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluß an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. 2. Bde. Basel 1878.
Heß: Die Gletscher. Braunschweig 1902.
Hobbs-Ruska: Erdbeben. Leipzig 1910.
Em. Kayser: Lehrbuch der Geologie. Teil I: Allgemeine Geologie. 3. Auflage. Stuttgart 1909. Teil II: Geologische Formationskunde. 4. Auflage. Stuttgart 1911.
K. Keilhack: Lehrbuch der praktischen Geologie. 2. Auflage. Stuttgart 1908.
W. v. Knebel: Höhlenkunde. Braunschweig 1906.
E. Koken: Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Festband zur Feier des 100jährigen Bestehens. Stuttgart 1907.
F. Koßmat: Paläogeographie. Sammlung Göschen. Leipzig 1908.
A. de Lapparent: Leçons de Géographie physique. III. Edition. Paris 1907.
Lerſch: Hydrophysik. 2. Auflage. Bonn 1870.
Penck-Brückner: Die Alpen im Eiszeitalter. 3 Bde. Leipzig 1909.
A. Penck: Die Entstehung der Alpen. Zeitschrift für Erdkunde. 1908. S. 5 ff.
H. Rosenbusch: Elemente der Gesteinslehre. 3. Auflage. Stuttgart 1910.
A. Sauer: Mineralkunde als Einführung in die Lehre vom Stoff der Erdrinde. Stuttgart 1907.
H. Schardt: Les Vues modernes sur la Tectonique et l'Origine de la Chaîne des Alpes. Archive des Sciences physiques et naturelles. Série 4. Tome 23. p. 356—385. Genève 1907.
C. Schmidt: Bild und Bau der Schweizer Alpen. Basel 1907.
Aug. Sieberg: Handbuch der Erdbebenkunde. Braunschweig 1904.

G. Steinmann: Einführung in die Paläontologie. 2. Auflage. Leipzig 1907.
„ Geologische Probleme des Alpengebirgs. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins. Bd. 37. Innsbruck 1906.
A. Stübel: Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart. Leipzig 1901.
„ Martinique und St. Vincent. Leipzig 1903.
P. Termier: Les Alpes entre le Brenner et la Valteline. Bulletin de la Société géologique de France. IV. Série. Tome 5. p. 209—289. Paris 1905.
F. Toula: Lehrbuch der Geologie. 2. Auflage. Wien 1906.
H. Wagner: Lehrbuch der Geographie. I. Band, Allgemeine Erdkunde. 8. Auflage. Hannover und Leipzig 1908.
Joh. Walther: Lithogenesis der Gegenwart. Beobachtungen über die Bildung der Gesteine an der heutigen Erdoberfläche. Jena 1894.
F. v. Wolff: Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Zeitschr. der Deutschen geologischen Gesellschaft. 60. Band. S. 431—465.
E. Weinschenk: Grundzüge der Gesteinskunde. I. Allgemeine Gesteinskunde. 2. Auflage. Freiburg i. B. 1906. II. Spezielle Gesteinskunde. 2. Auflage. Freiburg i. B. 1907.
Karl A. v. Zittel: Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie). Neubearbeitet von F. Broili, E. Koken, M. Schlosser. I. Abt. Invertebrata. 3. Auflage. München und Berlin 1910. II. Abt. Vertebrata. 2. Auflage. 1911.

Außerdem zahlreiche in verschiedenen Zeitschriften veröffentlichte Abhandlungen von Arldt, S. Arrhenius, M. Bauer, W. Branca, E. Brückner, C. Chelius, R. Credner, W. Deecke, C. Diener, C. E. Dutton, K. Endriß, F. Frech, F. E. Geinitz, E. Haug, A. Heilprin, A. Heim (Vater und Sohn), A. Johnsen, G. Klemm, W. v. Knebel, A. v. Koenen, E. Koken, A. Lacroix, M. Lugeon, A. Nathorst, A. Penck, E. Philippi, J. Pompeckj, H. Potonie, F. v. Richthofen, F. Rinne, A. Rothpletz, W. Salomon, C. Sapper, H. Schardt, G. Steinmann, E. Sueß, F. Sueß, P. Termier, A. Tornquist, V. Uhlig, R. D. M. Verbeek, F. Wahnschaffe, J. Walther, E. Weinschenk, E. Wiechert, O. Wilckens, F. v. Wolff, E. Zimmermann u. a.

□ □

Vorwort.

Wir Deutsche besitzen mehrere vortreffliche Lehrbücher der Geologie: die „Elemente der Geologie" von Hermann Credner, das „Lehrbuch der Geologie" von Franz Toula und das große zweibändige Werk von Emanuel Kayser (Teil I „Allgemeine Geologie", Teil II „Geologische Formationskunde") können jedem, der eine rein wissenschaftliche Darstellung vorzieht, als mustergültige Führer auf dem umfassenden Gebiet unserer Wissenschaft empfohlen werden. Reiche Belehrung findet man auch in den verschiedenen geographischen Lehr- und Handbüchern, die oft zum größten Teil oder wenigstens in einzelnen Abschnitten auf das Gebiet der allgemeinen Geologie übergreifen. Bildet doch die Lehre von den Formen der Erdoberfläche, die Geomorphologie, seit mehreren Jahrzehnten eine eigene, im Grenzgebiet der Geologie und Geographie heimische Zweigwissenschaft, die in vieler Hinsicht befruchtend auf beide Disziplinen gewirkt hat. Erst durch geomorphologische Untersuchungen haben viele für den Geologen höchst interessante und wichtige Probleme die früher vergeblich erstrebte Klärung gefunden. Als ganz vortreffliches, die moderne geomorphologische Richtung ausgiebig berücksichtigendes Werk verdienen die „Grundzüge der physischen Erdkunde" von Al. Supan an erster Stelle hervorgehoben zu werden.

In dem vorliegenden Buch ist der Versuch gemacht, die Ergebnisse der geologischen Forschung einem größeren Publikum in allgemein verständlicher Weise zugänglich zu machen. Das bedingte von vornherein eine etwas andere Anordnung des Stoffes, als sie in den wissenschaftlichen Lehrbüchern üblich ist. In diesen wird an erster Stelle die dynamische Geologie behandelt; die vulkanischen und tektonischen Vorgänge, die Tätigkeit des Wassers und der Gletscher, des Windes und der Organismen werden der Reihe nach besprochen und in ihrer Bedeutung für die Gestaltung der Erdrinde gewürdigt. Daran schließt sich meistens ein kurzer Abriß der Petrographie und weiterhin ein rein theoretischer Abschnitt über Tektonik. Dynamische, petrographische und tektonische Geologie füllen in der Regel die erste Hälfte des Buches, dessen übriger Teil dann der sogenannten historischen Geologie oder Formationskunde gewidmet ist.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus ist diese Einteilung gewiß jeder anderen vorzuziehen. Wer aber für weitere Kreise schreibt, muß von vornherein darauf bedacht sein, jede theoretische Lehre durch leichtverständliche Beispiele beobachteter Tatsachen zu erläutern. Es ist nun klar, daß man in der Auswahl solcher Beispiele recht beschränkt ist, wenn nicht eine wenigstens oberflächliche Kenntnis der Formationskunde beim Leser vorausgesetzt werden darf. Aus diesem Grunde entschloß sich der Verfasser, den der dynamischen Geologie gewidmeten Teilen des Buches einen kurzen Abriß der historischen Geologie vorausgehen zu lassen. Um aber nicht mit fremdartigen, dem Verständnis des Lesers sehr fernliegenden und zum großen Teil hypothetischen Dingen beginnen zu müssen, empfahl sich eine der Zeit nach rückwärts fortschreitende Darstellung die den Vorteil bietet, daß man von bekannten Verhältnissen ausgehen kann und erst allmählich zu den schwerer verständlichen, oft noch ungenügend aufgehellten Zuständen der ältesten Erdepochen gelangt. Die Schilderung beginnt also mit dem jüngst vergangenen diluvialen Zeitalter, das sich in vieler Hinsicht an die Gegenwart anlehnt, und geht dann zu immer älteren Perioden über. Da nur eine vorläufige Orientierung der Leser beabsichtigt war, wurden alle stratigraphischen Einzelheiten vermieden und das Hauptgewicht auf eine allgemeine Charakteristik der verschiedenen

Zeitalter gelegt. Den Schluß des so entstandenen Abschnitts „Weltalter" bildet ein den verschiedenen Hypothesen über den Urzustand unseres Planeten gewidmetes Kapitel.

Mit dem nun folgenden Abschnitt „Vulkanismus" beginnt die eigentliche Darstellung der geologischen Kräfte. Aber auch hier sah sich der Verfasser mehrfach veranlaßt, von der herkömmlichen, streng systematischen Behandlung des Stoffes abzuweichen. An die Schilderung der vulkanischen Erscheinungen schließt sich zunächst ein petrographischer Teil: Granit, Kalkstein und die Tongesteine werden ihrer Zusammensetzung, Struktur und Entstehung nach ausführlich besprochen. Weiterhin finden die Metamorphosen — dieses Wort in weitestem Sinne verstanden — der erwähnten Felsarten ihre Behandlung, z. B. die Verwandlung des Granits in Kaolin, Speckstein, Greisen und Zwitter; diejenige des Kalksteins in körnigen Kalk und Dolomit; die der Tonschiefer in Phyllite, Glimmerschiefer und gneisartige Gesteine. Außerdem werden die höchst mannigfachen Erscheinungen der Verwitterung eingehend berücksichtigt.

Um den Leser nicht durch Häufung systematischer Details zu verwirren, glaubte Verfasser auf Besprechung der nichtgranitischen Tiefengesteine sowie der mannigfachen „Ganggesteine" verzichten zu sollen. Was die Ergußgesteine betrifft, so wurde über die wichtigsten Typen: Liparit, Quarzporphyr, Trachyt, Phonolith, Basalt, an anderen, geeignet erscheinenden Stellen das Notwendigste mitgeteilt.

Die späteren Abschnitte des Buches sind den Strandverschiebungen früherer Epochen und der Gegenwart, der Erosion des fließenden Wassers und der Meeresbrandung, der Quellenkunde, der geologischen Tätigkeit des Windes, der Gebirgsbildung und endlich den Erdbeben gewidmet. Als unnötig erwies sich ein besonderer Abschnitt über Tektonik; denn alle zum Verständnis erforderlichen tektonischen Begriffe konnten im Lauf der Darstellung erklärt und durch Beispiele beleuchtet werden.

Eine ausführliche Darstellung der geologischen Formationskunde Deutschlands wird den Hauptinhalt des zweiten, „Geologie der deutschen Landschaften" betitelten Bandes bilden.

Der populären Tendenz des Buches wurde auch insofern Rechnung getragen, als manche den Laien besonders interessierenden Dinge mit größerer Ausführlichkeit behandelt sind, als in geologischen Lehrbüchern üblich ist. Hierher gehört namentlich die Schilderung der von Vulkanen, Erdbeben, Gletschern und Wasserfluten verursachten Katastrophen; aber auch vieles, was über die gewöhnlichen Quellen und Mineralquellen, über Höhlen und Höhlenflüsse, über Gletscherschwankungen, Dünenwanderungen usw. gesagt ist, will unter diesem Gesichtspunkt verstanden sein.

Die größten Schwierigkeiten bietet zur Zeit eine allgemeinverständliche Darstellung des Baus der Kettengebirge. Abgesehen davon, daß eine Menge geographischer, stratigraphischer und petrographischer Kenntnisse beim Leser vorausgesetzt werden muß, befinden sich unsere Anschauungen über Bau und Entstehung der Faltengebirge noch immer in einer Art Übergangsstadium, dessen Ende vor der Hand nicht abzusehen ist. Die österreichischen Geologen leugnen nach wie vor die Anwendbarkeit der Deckentheorie auf die Ostalpen oder wollen sie wenigstens nur in sehr beschränktem Maße zulassen. Dazu kommt, daß der eigentliche Kern des Deckenproblems, wie nämlich aus den räumlich sehr beschränkten Wurzelgebieten so weit ausgedehnte, mächtige Deckensysteme hervorgehen konnten, noch keineswegs aufgehellt ist. So schwerwiegende Beweise auch für die Richtigkeit der Deckentheorie vorliegen, erscheint doch die angebliche Herauspressung der Decken aus engen Spalten als ein so außerordentlich unwahrscheinlicher Vorgang, daß er meines Erachtens nicht zur Grundlage einer im übrigen durchaus plausiblen Lehre gemacht werden darf. Auf Beobachtungen in den Tiroler Zentralalpen gestützt, ist Verfasser zu ganz abweichenden Anschauungen über diesen Gegenstand gelangt, die er demnächst in wissenschaftlicher Form zu veröffentlichen gedenkt.

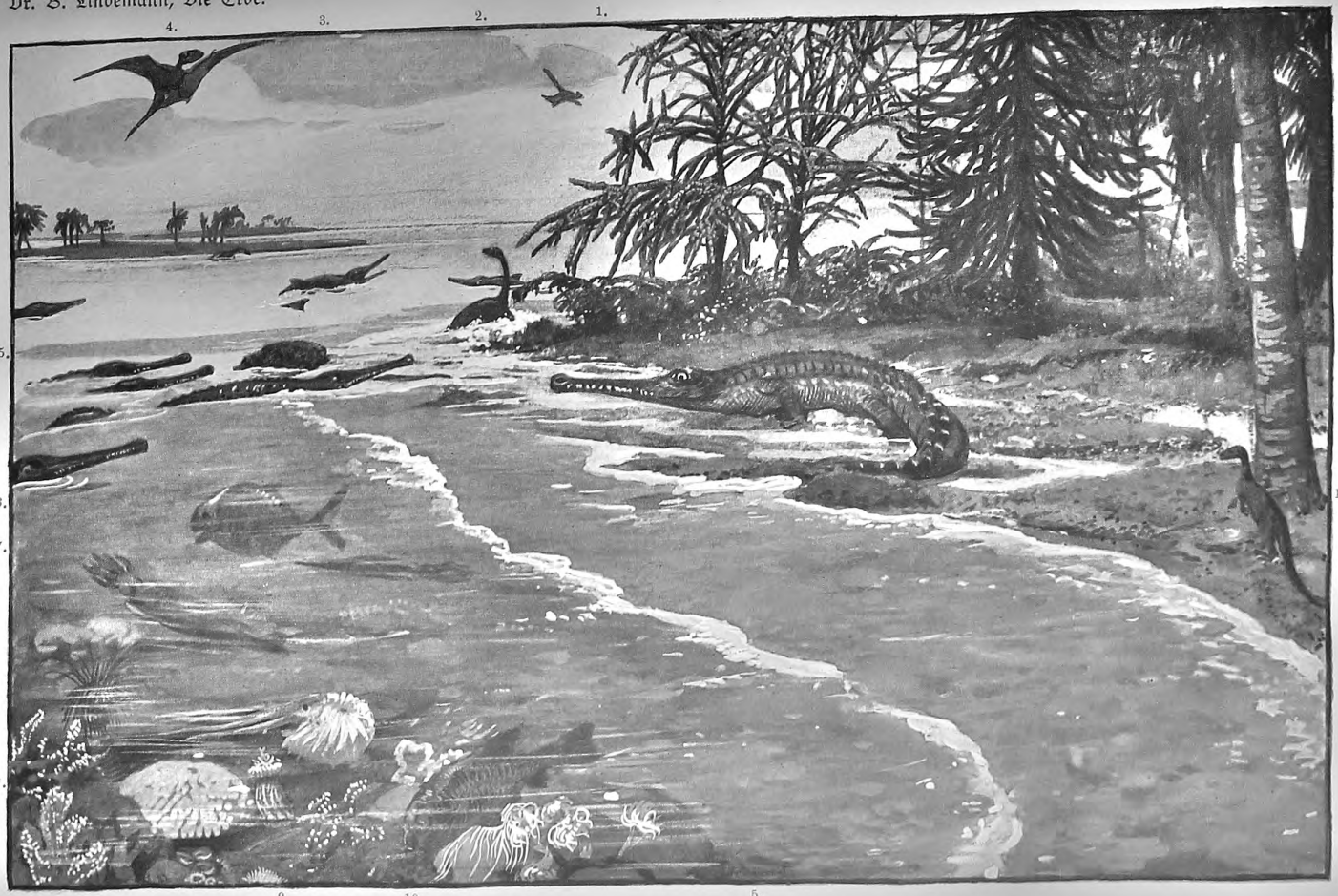
Trotz der noch bestehenden Zweifel glaubt Verfasser das Richtige getroffen zu haben, wenn er die alten Anschauungen über den Aufbau des Alpengebirges beiseite setzte und seine Schilderung der modernen Auffassung nach Möglichkeit anpaßte. Dabei leisteten ihm die dieses

Gebiet behandelnden Schriften von G. Steinmann, H. Schardt, C. Schmidt u. P. Termier vortreffliche Dienste.

Was die Ausstattung des Buches betrifft, so bin ich der Franckh'schen Verlagshandlung, die allen meinen Wünschen bereitwilligst entgegengekommen ist, zu ganz besonderem Dank verpflichtet. Herr Dr. Gothan-Berlin hatte die Liebenswürdigkeit, zwei Tafeln mit Darstellungen karbonischer Pflanzen einer verbessernden Durchsicht zu unterziehen. Sehr verbunden bin ich ferner Herrn Bibliothekar Dr. Leyh in Göttingen, der mir bei Beschaffung der Literatur und bei der Anfertigung des Registers in liebenswürdigster Weise behilflich war.

Wenn es diesem Buch gelingt, das in weiten Kreisen langsam erwachende Interesse für Geologie zu beleben und recht viele Leser zu eigenen Beobachtungen auf dem weiten Feld unserer Wissenschaft anzuregen, werden die Absichten des Verfassers völlig verstanden und erfüllt sein.

Göttingen. **Dr. B. Lindemann.**



Süddeutsche Landschaft zur Jurazeit.

(Nach einem Aquarell von W. Planck).

1. Archaeopteryx (Urvogel). 2. Plesiosaurus. 3. Ichthyosaurus. 4. Rhamphorhynchus, ein Flugsaurier. 5. Teleosaurier (Krokodile). 6. Gyrodus, ein Schmelzschupper. 7. Ein Belemnit. 8. Kolonie von Korallen, Schwämmen und Seelilien. 9. Ein Ammonit. 10. Lepidotus, ein Schmelzschupper. 11. Der kleine Dinosaurier Compsognathus.

Einleitung:
Einige Grundbegriffe der Geologie

Von den drei großen naturgeschichtlichen Reichen findet das Mineralreich in der Schule meist eine sehr stiefmütterliche Behandlung, und auch dem Erwachsenen bietet sich nur selten Gelegenheit, in Vorträgen und Lehrkursen etwas Näheres vom Bau, von der Zusammensetzung und Geschichte der Erdkruste zu erfahren. Wer Wald und Flur durchwandert, wird sich in der lebenden Natur ohne große Schwierigkeiten zurechtfinden; die wenigen von der Kultur verschonten, vierfüßigen Tiere sind ihm ausnahmslos bekannt, und wenn er auch manchmal einem Vogel, Schmetterling oder Käfer nicht den streng richtigen Namen gibt, wird er ihn doch ungefähr am passenden Platze unterbringen. Auch im vielgestaltigen Reich der blühenden Pflanzen wird der Naturfreund gut Bescheid wissen oder nach Umständen aus dem Bestimmungsbuch die fehlenden Kenntnisse leicht ergänzen. Ganz anders, wenn er eine Versteinerung oder irgendeinen merkwürdigen Stein findet! Zwar gibt es auch für diese Fälle Bestimmungstabellen, aber sie können ihm nichts helfen, weil allzuviele, nur dem Fachmann geläufige, fremden Sprachen entlehnte Ausdrücke darin vorkommen. Wie oft mag es schon passiert sein, daß der Laie versteinerte Muscheln zu finden glaubte, die in Wirklichkeit Brachiopoden (Armfüßer) oder gar Ammoniten waren, daß er zierliche, moosähnliche Zeichnungen auf Steinplatten für versteinerte Pflanzen hielt, während es doch rein mineralische Bildungen, sogenannte Dendriten, waren, ausgeschieden von eisen- oder manganhaltigem Wasser auf den feinsten Haarrissen des Gesteins! Noch häufiger aber sind gewiß die Fälle, in denen der Nichtfachmann am Interessanten und Seltenen vorübergeht, weil es ihm durchaus nicht beachtenswert erscheint.

Durch Bücherstudium allein kann sich da auch niemand die nötigen Kenntnisse erwerben. Versteinerungen, Mineralien und Gesteine muß man in charakteristischen Exemplaren gesehen haben, bevor man sie zu bestimmen versucht, aber sehr oft reichen die äußeren, leicht sichtbaren Kennzeichen zu einer sicheren Bestimmung überhaupt nicht aus. Sorgfältige Untersuchungen, Präparation, Messung, mikroskopische Prüfung sind da nötig, um zum Ziele zu gelangen.

Müssen wir auf diesem Gebiet den Naturfreund ganz und gar auf die praktische Arbeit verweisen, so können wir ihm doch in anderer Hinsicht das Verständnis der leblosen Natur erleichtern. Wer eine Landschaft beim Durchwandern mit offenen Augen betrachtet, dem drängen sich eine Menge Fragen auf. Warum ist der Boden so wechselreich geformt, hier in ein buntes Relief von Berg und Tal gegliedert, dort als flache Niederung oder als einförmige Hochebene weithin ausgebreitet? Wie kommt es, daß der Fluß gleich einer riesigen Schlange sich windet, bald schäumend in malerischer Klamm starre Felsen durchbricht, bald stolz und ruhig zwischen grünenden Fluren dahinzieht? Hier mündet er in ein weites Seebecken, dort verliert er sich heimlich unter die Erde, um viele Stunden weit, in einem ganz anderen Tal, wieder hervorzubrechen. Und wie verschieden ist die Gestalt der Berge! In der einen Gegend sind es glockenförmige Kuppen oder auch spitzige Kegel, ganz unvermittelt aus flachem Grunde aufsteigend, in der anderen wellige, weithin sich erstreckende Rücken, in einer dritten ungeheure, zum Himmel emporstarrende Mauern, gekrönt von zackigen Graten und kühnen Felstürmen. Alle diese mannigfaltigen Formen der Erdoberfläche müssen einmal entstanden sein, — aber wo hat man diese schaffenden Kräfte zu suchen?

Die Geologie (d. h. Erdlehre) versucht auf solche Fragen eine Antwort zu geben. Sie belehrt uns über Herkunft und Tätigkeit der Kräfte, die rastlos dem Antlitz unseres Planeten neue Züge aufprägen; aber das ist nicht ihre einzige Aufgabe. Auch die Baustoffe der Erdrinde, Gesteine und Bodenarten, müssen geprüft, ihr Werden und Vergehen erforscht werden! Endlich sammelt die Geologie alle auffindbaren Belege für die Geschichte des Erdballs und seiner Bewohner, Tiere wie Pflanzen, und sucht von ihrer über unermeßliche Zeiträume verteilten Entwicklung ein klares Bild

zu gewinnen. Es ist der Zweck des vorliegenden Buches, aus diesen verschiedenen Zweigen der Geologie dem Leser einige wichtige Kapitel vorzuführen.

▣

Um die Entstehung einer Landschaft zu begreifen, muß man vor allen Dingen ihren Aufbau kennen, d. h. wissen, was für Gesteine ihren Untergrund bilden, und wie sie gelagert sind. Hier stellt sich aber sogleich eine große Schwierigkeit ein. In der Regel liegt das Felsgerüst der Erde nur an engbegrenzten, oft recht spärlichen Stellen offen zutage und ist im übrigen verhüllt von Erde, Lehm, Sand und Geröll, in den meisten Gegenden außerdem noch vom Pflanzenwuchs. Nur in felsigen Gebirgen und an steilen Meeresküsten läßt sich eine bestimmte Gesteinschicht ununterbrochen auf weite Ausdehnung verfolgen; in der Ebene, im Hügelland, im waldigen Mittelgebirge ist die geologische Beobachtung auf vereinzelte, günstig gelegene Aufschlüsse beschränkt. Darunter versteht man eben jene Stellen, wo der Untergrund des Bodens, das anstehende Gestein, wie der Geologe sich ausdrückt, sichtbar wird. In den meisten Fällen sind sie auf künstlichem Wege, bei der Anlage von Steinbrüchen, Landstraßen, Eisenbahnen, Gebäuden, entstanden. Wiewohl nun dank der fortschreitenden Kultur ihre Zahl von Jahr zu Jahr zunimmt, reicht sie doch in vielen Gegenden zum vollen Verständnis des geologischen Baues bei weitem nicht aus. Vor allem ist mißlich, daß die meisten Aufschlüsse nur 10—20 Meter unter die Erdoberfläche hinabreichen, über die Beschaffenheit des tieferen Untergrundes also gar keine Auskunft geben. Bohrungen können da helfen, aber sie werden meistens nur im Interesse der Industrie vorgenommen, also in Gebieten, wo man nutzbare Mineralstoffe, z. B. Kalisalze oder Petroleum, in der Tiefe anzutreffen hofft.

Abb. 1. Querschnitt durch einen geschichteteten, von einem Basalt durchbrochenen Berg.

Die fehlenden Aufschlüsse kann man bis zu gewissem Grade durch die Beobachtung der Schuttdecke ersetzen. Auf Wegen und Feldern, im Acker- und Waldboden findet man überall lose, von einer grauen oder braunen Verwitterungsrinde überzogene Steine, Überbleibsel der früher zusammenhängenden, jetzt größtenteils in Ton, Erde oder Sand verwandelten Felsoberfläche. Selbstverständlich darf man aus dem Charakter dieser „Lesesteine" nur auf die alleroberste Schicht des unter dem Humus versteckten Felsbodens schließen, und selbst hierbei ist größte Vorsicht am Platze. Steigt man an einem Bergabhang hinauf, so betritt man sehr häufig nacheinander ganz verschiedene Gesteinschichten, wie Abb. 1 dies schematisch erläutert. Den Fuß des Berges bildet Sandstein, etwas höher liegen tonige Schiefer und darüber massiger Kalkstein. Außerdem durchsetzt den ganzen Berg von unten nach oben ein „Gang" vulkanischen Gesteins (Basalt), der in den unteren Teilen nicht sichtbar ist, weil ihn die anderen Schichten verhüllen, sich aber auf dem Gipfel zu einer mächtigen Kappe ausbreitet.

Es ist nun klar, daß die am Fuß des Berges gesammelten Lesesteine zwar vorwiegend aus Sandstein, zum Teil aber auch aus Tonschiefer, Kalk und Basalt bestehen werden, denn von den höher gelegenen Schichten bröckeln im Lauf der Zeit ganz bedeutende Massen ab und rollen nach unten. Wo etwa das Gehänge nicht steil genug ist, um das selbständige Abrollen zu ermöglichen, können starke Regengüsse oder bei der Schneeschmelze entstandene Wasserfluten die gelockerten Felsstücke hinabschwemmen. Auch

in der Mitte des Berges werden sich noch verschiedenartige Lesesteine finden, und erst am Gipfel stimmen alle untereinander und mit dem anstehenden Basaltfels überein.

Unter solchen Verhältnissen sind sehr gründliche Untersuchungen nötig, um die Grenzen zwischen den einzelnen Schichten festzustellen. Häufig aber stammen die im Erdreich enthaltenen losen Steine gar nicht von den benachbarten Bergen, sondern aus weiter Ferne. Dies ist der Fall z. B. im Schwemmland von Flüssen, die aus den Gebieten ihres Oberlaufs viel Gesteinmaterial in Form von Kies und Geröll mitführen. Am auffälligsten ist die Verbreitung ortsfremder Steine in den weiten Ebenen Norddeutschlands. Vergleichende Untersuchungen haben gelehrt, daß sie zum weitaus größten Teil den skandinavischen und baltischen Ländern entstammen. Riesenhafte Eisströme, die vor langer Zeit von den skandinavischen Gebirgen ausgingen und sich über ganz Nordeuropa ergossen, haben sie dorthin geschafft. Gleichzeitig lagerten die Eismassen mächtige Lehmschichten ab, den sogenannten Block- oder Geschiebelehm, der heute den Untergrund fast der ganzen norddeutschen Tiefebene bildet, selbst aber wieder von später abgesetzten Sand- und Tonschichten bedeckt wird. Die Gesamtdicke aller dieser lockeren Massen übersteigt häufig hundert, ja zweihundert Meter; erst darunter liegt die alte, seinerzeit von den Eisströmen überflutete Landoberfläche. —

Beim Durchwandern einer gebirgigen oder hügeligen Gegend wird man oft in kurzen Abständen auf Gesteine verschiedenen Alters und verschiedener Entstehung stoßen. In der Regel liegen, wie zu erwarten, die ältesten Schichten unten, d. h. am Grunde der Täler und Schluchten, etwas jüngere an den Abhängen und die jüngsten auf den Gipfeln der Berge. Diese ordnungsmäßige Lagerung ist jedoch in zahlreichen Fällen gestört, hier sind Schichten in die Tiefe gesunken, dort emporgestiegen, so daß man gerade die jüngeren im Tal, die älteren auf den Bergen findet. In anderen Gegenden sind sie gar alle zusammen schräg oder senkrecht aufgerichtet oder durch- und übereinander geschoben; auch dann wäre eine Altersbestimmung ganz unmöglich, wenn nicht die Versteinerungen dem Geologen aus der Klemme hülfen.

Versteinerungen, Fossilien oder Petrefakten nennt man „alle Überreste oder Spuren von Pflanzen und Tieren, die vor Beginn der jetzigen geologischen Periode gelebt haben und in den Erdschichten erhalten blieben“ (Zittel). Irgendein derartiges Gebilde hat wohl jeder schon einmal in Händen gehabt, sei es ein seltsam gewundenes Ammonshorn oder einer der früher mit abergläubischer Scheu betrachteten „Donnerkeile“ (Belemniten, Schalenstücke von Tintenfischen), sei es auch nur eine Platte mit unscheinbaren versteinerten Muscheln, wie sie sich in den Kalkgebirgen Mitteldeutschlands fast auf Schritt und Tritt finden. Trotzdem Versteinerungen etwas sehr Gewöhnliches sind, vermitteln sie uns doch nur eine sehr lückenhafte

Abb. 2. Cerithium giganteum, eine tropische Meeresschnecke aus dem Grobkalk von Paris, rechts das versteinerte Gehäuse, links der Steinkern.

Kenntnis von der Lebewelt früherer Zeiten. Im allgemeinen haben sich nur die Hartgebilde der Tiere (Schalen, Knochen, Zähne usw.) erhalten, und auch diese nur dann, wenn sie durch Einbettung in Sand oder Schlamm vor Auflösung geschützt wurden, dagegen sind die Weichteile bis auf einige seltene Ausnahmen spurlos verschwunden. Zu diesen Ausnahmen gehören beispielsweise die im sibirischen Bodeneis gefundenen, vollständig mit Fleisch, Haut und Pelz erhaltenen Mammutleichen. Tiere, denen alle Hartgebilde fehlen, z. B. Quallen, Nacktschnecken, die Mehrzahl der Würmer, sind im eigentlichen Sinne überhaupt nicht versteine-

rungsfähig. Im ganzen ist uns zweifellos nur ein geringer Bruchteil der vorweltlichen Tier- und Pflanzengeschlechter im fossilen Zustand überliefert.

Die eigentliche Versteinerung kann durch mannigfache Vorgänge zustande kommen, von denen wir hier nur die allerwichtigsten kurz beschreiben wollen. Sehr gewöhnlich ist eine Durchtränkung der Schalen und Skelette mit kalk-, kiesel- oder eisenhaltigem Wasser, wodurch sie eine innere chemische oder molekulare Umwandlung erleiden, die sie widerstandsfähiger gegen die Einflüsse der Zerstörung macht. Ferner wird beim Einbetten des Fossils in Sand oder Schlamm der leere Innenraum von dem weichen Brei ausgefüllt; daraus entstehen nach Verfestigung der ganzen Schicht die Steinkerne, innere Ausgüsse der Schalen, oft mit fein ausgeprägter Skulptur. Häufig findet man die Steinkerne allein, während die äußere Umhüllung, die frühere Schale, aufgelöst und verschwunden ist. Abb. 2 zeigt in charakteristischer Weise den Unterschied zwischen einer beschalten Versteinerung und dem dazugehörigen Steinkern.

Schließlich kann auch das ganze Fossil verschwunden und nur der Abdruck übriggeblieben sein. Durch Ausgießung der Höhle mit Gips oder Guttapercha gewinnt man dann ein Bild der ursprünglichen Form. Auch von durch und durch weichen Tieren, wie den Quallen, findet man gelegentlich Abdrücke im Gestein, ebenso von leicht vergänglichen, nicht versteinerungsfähigen Körperteilen, wie dem Federkleid der Vögel, der Lederhaut der Reptilien, dem Tintenbeutel der Tintenfische. Solche Funde haben bisweilen ungeahnte Aufschlüsse über die Organisation vorweltlicher Tiere ergeben. Endlich gehören auch die im nassen Schlamm hinterlassenen Fußspuren und Fährten früherer Erdbewohner hierher.

Wenn Pflanzen von Mineralwasser durchtränkt werden, können sie in ähnlicher Weise versteinern wie tierische Reste, weit häufiger aber machen sie eine ganz andere Umwandlung durch, deren auffälligstes Ergebnis die für unsere Kultur so wichtigen Stein- und Braunkohlenlager sind. Wie mögen diese wohl entstanden sein? Den größten Teil des Zellgewebes der Pflanzen bildet die Holzfaser oder Zellulose, eine gewöhnlich aus fünfzig Prozent Kohlenstoff, vierundvierzig Prozent Sauerstoff und sechs Prozent Wasserstoff zusammengesetzte Masse. Wie bekannt, verfault die Holzfaser an freier Luft binnen kurzer Zeit vollständig; werden aber Pflanzenreste von Schlamm oder Sand bedeckt, so erleiden sie eine ganz andere, ungemein langsam vor sich gehende Zersetzung. Wasser- und Sauerstoff entweichen allmählich in Form neugebildeter Gase, namentlich Kohlensäure und Gruben- oder Sumpfgas, verbinden sich auch wohl zum Teil miteinander zu Wasser, während die Hauptmasse des Kohlenstoffs zurückbleibt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Verkohlung, er arbeitet darauf hin, aus der ursprünglichen Pflanzenmasse im Lauf der Zeit reinen Kohlenstoff herzustellen. Die erste Stufe dieser Umbildung stellt der Torf dar, er besitzt oft eine von der Zellulose kaum verschiedene chemische Zusammensetzung. Dann kommt die Braunkohle, die schon zu $^2/_3$—$^3/_4$ aus Kohlenstoff besteht, noch reicher an diesem Grundstoff sind Steinkohle und Anthrazit.

Nur selten ist die Entwicklung bis zur reinsten, völlig sauerstofffreien Kohle vorgeschritten, solche findet sich bei Schunga im russischen Gouvernement Olonetz und wird nach diesem Vorkommen Schungit genannt. Wie es zugegangen ist, daß sich so ungeheure Mengen vorweltlicher Pflanzenstoffe in den Kohlenlagern anhäuften, soll der Leser später erfahren.

Die meisten Geologen nehmen an, daß überall, wo Pflanzenmassen ungestört verkohlen, die geschilderte Umbildung mit Notwendigkeit über das Braunkohlenstadium zur Steinkohle und weiter zum Anthrazit führt. Diese Ansicht hat viel für sich, da ja unsere Braunkohlen zumeist einer sehr jungen erdgeschichtlichen Periode, der Tertiärzeit, entstammen, während die Steinkohlen zweifellos um viele Jahrmillionen älter sind. Als Beweis, daß die Entwicklung sich noch heute in vollem Gange befindet, betrachtet man die in Kohlengruben so häufigen schlagenden Wetter, bekanntlich Mischungen von Grubengas mit atmosphärischer Luft, die bei Berührung mit einer Flamme in fürchtbarster Weise explodieren. Auch mit Ansammlungen von Kohlensäure hat der Bergmann oft zu kämpfen. Dies sind aber gerade die beiden durch die allmähliche Verkohlung entstehenden Gase, so daß sich hier Theorie und Beobachtung in schönster Übereinstimmung befinden. —

Wie kann man nun die Versteinerungen zur Altersbestimmung der Schichten benutzen? Die Möglichkeit beruht auf der Tatsache, daß die organische Welt im Lauf der Erdgeschichte eine bestimmte Entwicklung durchgemacht hat. Verfolgt man die Geschichte einer Tier- oder Pflanzengruppe, so erscheinen zuerst niedrig-

stehende, unvollkommene Formen, später die höher und reicher organisierten; die meisten Sippen zeigen nach langsamem Aufsteigen eine Blütezeit von sehr verschiedener Dauer und sterben dann entweder rasch aus, wie die Riesenechsen, oder nehmen ganz allmählich an Zahl und Bedeutung ab, was man beispielsweise bei den Armfüßern und Seelilien beobachten kann. Wo die Lagerung der Schichten regelrecht und ungestört ist, kann man leicht ermitteln, in welcher Reihenfolge die Lebewesen auf der Erde erschienen sind, und dann umgekehrt diese Kenntnis verwerten, um bei unklaren Lagerungsverhältnissen das Alter der Schichten zu bestimmen.

Der Wert der Versteinerungen aber ist, von diesem Standpunkt betrachtet, sehr ungleichartig. Viele Organismen haben mehrere geologische Perioden hindurch gelebt, kommen also in verschiedenaltrigen Schichten vor. Das auffälligste Beispiel ist Lingula, eine Gattung der Armfüßer, die vielleicht seit hundert Millionen Jahren unseren Planeten bewohnt. Andere aber sind auf eine bestimmte Schichtengruppe oder gar nur auf eine einzelne Schicht beschränkt. Enthält z. B. eine Ablagerung die münzenförmigen Schalen der Nummuliten (eine Sippe der Kammerlinge), so fiel ihre Bildung in die ältere Tertiärzeit; findet man dagegen die großen Kegel der Rudistenmuscheln, so gehört die Gesteinlage der Kreide an. Alle zur Altersbestimmung tauglichen Versteinerungen bezeichnet man als Leitfossilien. Je kürzere Zeit eine Tiergruppe auf der Erde gelebt hat, und je größer ihre geographische Verbreitung war, um so wertvollere Leitfossilien liefert sie.

Nach den großen Entwicklungsstufen der organischen Welt hat man die Erdgeschichte (abgesehen von der frühesten Urzeit) in drei Hauptabschnitte zerlegt: erstens das Altertum, in dem es noch keine Säugetiere und Vögel sowie nur wenig Kriechtiere gab, sondern den Fischen und wirbellosen Tieren die Herrschaft gehörte; zweitens das Mittelalter, die Blütezeit der Reptilien, und drittens die Neuzeit, deren Kennzeichen die Vorherrschaft der Säugetiere und Vögel bildet. Jedes dieser „Weltalter" zerfällt wieder in mehrere Perioden, deren Geschichte das folgende Kapitel bringen wird. Alle Ablagerungen einer und derselben Periode faßt man unter der Bezeichnung „Formation" zusammen.

Es bleibt noch die Frage zu beantworten übrig, wie denn diese Ablagerungen entstanden sind. Die Reste vorweltlicher Tiere und Pflanzen finden sich fast ausschließlich in Schichtgesteinen oder Sedimenten (lateinisch sedimentum, „Bodensatz"), d. h. in Gesteinen, die dem Wasser, Eis oder Wind ihre Bildung verdanken. Der übergroßen Mehrzahl nach sind sie aus dem Absatz feiner, vom Wasser mitgeführter Teilchen hervorgegangen, also aus Schlamm, Sand, Kies, ferner aus Anhäufungen winziger Schalen und Schalenbruchstücke wasserbewohnender Tiere. In dieser Weise haben sich die Tone und Grauwacken, viele Sandsteine und die meisten Kalksteine gebildet. Es sind hauptsächlich Meeres-, viel seltener Süßwasserabsätze, daher stammen auch die meisten Versteinerungen von Bewohnern des Meeres, während die Land- und Süßwassertiere der Vorzeit uns weit unvollständiger bekannt sind.

Andere Schichtgesteine sind nicht aus dem Absatz schwimmender Teilchen, sondern durch Ausscheidung (Kristallisation) im Wasser gelöster Stoffe entstanden. Dies ist die Herkunft der Steinsalz- und Gipslager, auch der technisch so wertvollen Kalisalze, des peruanischen Chilisalpeters und der Boraxablagerungen in den Steppen Tibets. Der am Grunde sumpfiger Gewässer sich bildende Raseneisenstein gehört ebenfalls hierher, und auch Kalk kann sich direkt aus dem Wasser abscheiden.

Auf dem Lande betätigen sich die Gletscher und der Wind unter günstigen Umständen als Bildner sehr mächtiger Schichtenlagen. Jene schütten die Moränen auf — eine der großartigsten Bildungen dieser Art ist der vorerwähnte Bocklehm —, der Wind aber bläst, wie wir an den deutschen Küsten jederzeit beobachten können, den Flugsand zu mächtigen Decken zusammen. Mannigfache Gründe sprechen dafür, daß bedeutende Sandsteinmassen der Vorzeit, so der in Mitteldeutschland weit verbreitete „Buntsandstein", nichts anderes sind als der im Lauf ungezählter Jahrtausende in weiten Steppen und Wüsten zusammengewehte Flugsand.

Die Schichtgesteine führen ihren Namen wegen des geschichteten Aufbaus, der aber keineswegs allen hierhergehörigen Felsarten zukommt. Eine geschichtete Gesteinmasse besteht aus lauter parallelen, gleich den Blättern eines Buches übereinanderliegenden Platten oder Tafeln (Abb. 3), die in der Regel bei verhältnismäßig geringer Dicke oder „Mächtigkeit" eine weite seitliche Ausdehnung besitzen. Schichtung kommt zustande durch abwechselnden Niederschlag verschiedenartiger, z. B. toniger und kalkiger, Sedimente oder auch durch eine vorübergehende

Unterbrechung des Absatzes. Daher ist jede Schicht von der darüber- und darunterliegenden durch eine Fuge getrennt, und jede dieser Fugen war einmal die Oberfläche der neugebildeten Ablagerung.

Um einer naheliegenden Verwechslung vorzubeugen, sei schon hier bemerkt, daß Schieferung etwas ganz anderes ist als Schichtung. Schieferig ist jedes Gestein, das sich nach einer bestimmten Richtung in dünne Platten spalten läßt. Diese Eigenschaft kann zweierlei Ursprung haben: entweder ist sie im Gefüge des Gesteins begründet und beruht auf einem reichlichen Gehalt an parallel gelagerten Mineralschüpp-

Abb. 3. Wagerecht geschichtete Felsmassen.
Steinbruch im weißen Jura am Burren bei Gingen a. Fils (Württ.).

chen (meist Glimmertäfelchen), oder der Gebirgsdruck hat sie erst nachträglich hervorgebracht. Letzteres ist der Fall bei den bekannten, zum Häuserbau verwendeten Dachschiefern, die eine so vollkommene Schieferung besitzen, wie kaum eine andere Felsart. —

Für die Erforschung der Erdgeschichte sind die Sedimente wegen ihres Reichtums an Versteinerungen von der größten Wichtigkeit. Wer aber den geologischen Bau einer Landschaft studieren will, muß noch eine andere große Gesteingruppe kennen, die im schmelzflüssigen Zustand aus dem Erdinnern hervorgequollenen Feuer- oder Eruptivgesteine (lateinisch erumpere, „hervorbrechen"). Man kann die Erstarrung schmelzflüssiger Gesteinmassen noch heute an den Lavaergüssen der feuerspeienden Berge beobachten, und in ähnlicher Weise sind tatsächlich viele Eruptivgesteine entstanden, aber andere haben sich gar nicht an der Erdoberfläche, sondern in mehr oder minder bedeutender Tiefe gebildet, wodurch sie ein von verfestigter Lava recht verschiedenes Gefüge und Aussehen erlangten. Man nennt sie Tiefengesteine, im Gegensatz zu den aus Lavaergüssen hervorgegangenen Oberflächen- oder Ergußgesteinen. Zu jenen gehört der allbekannte Granit, zu diesen die vulkanischen Felsarten im engeren Sinne, z. B. Basalt, Trachyt, Klingstein.

Man sollte erwarten, bei der so verschiedenen Bildungsweise müßten sich Schicht- und Feuergesteine durch äußere Kennzeichen leicht unterscheiden lassen, aber sonderbarerweise gibt es kein einziges unbedingt sicheres Merkmal. Zwar fehlt den vormals glutflüssigen Felsarten durchweg die echte Schichtung, aber diesen Mangel teilen sie mit vielen Sedimenten. Ganz falsch ist die Angabe, Feuergesteine seien immer „kristallinisch", d. h. aus lauter kristallisierten Mineralkörnern zusammengesetzt, während die Schichtgesteine aus dem zertrümmerten und zerriebenen Grus älterer Felsarten zusammengebacken wären. Bimsstein, Obsidian, Pechstein, lauter echt vulkanische Erzeugnisse, bestehen keineswegs aus Kristallen, sondern aus Glasfluß, und als Gegenstück dazu gibt es echt „kristallinische" Sedimente, z. B. Steinsalz, Gips und manche Kalksteine. Man hat denn auch in früheren Jahren über die Entstehung vieler Gesteine heftig und lange gestritten, manche Forscher wollten fast allen eine feurigflüssige Herkunft zuschreiben, andere hielten selbst die Laven für ursprüngliche Wasserabsätze, die erst nachträglich durch Erdbrände umgeschmelzt worden seien. Hat doch ein Gelehrter sogar den Granit, jenes Urbild eruptiver Felsarten, für eine Bildung aus versteinerten Pflanzen erklärt! Ja, selbst heute ist der Streitruf: Hie Feuer, hie Wasser! noch nicht verklungen, auf dem Gebiet der kristallinischen Schiefer kreuzen sich nach wie vor die entgegengesetzten Lehrmeinungen.

Diese rätselhaftesten aller Gesteine gleichen

mit ihrem kristallinischen, körnigen Gefüge durchaus den Feuergesteinen, sind aber schiefrig, ja manchmal geradezu geschichtet wie die Sedimente. Die Frage nach ihrem Ursprung gehört zu den schwierigsten Problemen der Geologie, wir können sie erst später behandeln und wollen hier nur bemerken, daß die kristallinischen Schiefer teils ursprüngliche Bildungen sind, teils aber durch Umwandlung (Metamorphose) aus anders beschaffenen Feuer- sowie Schichtgesteinen hervorgingen. Den letzteren Vorgang hat man sich im wesentlichen so zu denken, daß heiße Dämpfe, namentlich stark überhitzter Wasserdampf, die Gesteine in ihrem innersten Gefüge durchtränkten und aufweichten; trat dann später Abkühlung ein, so kristallisierten die gelösten Stoffe wieder aus, und es entstand ein scheinbar ganz neues, „metamorphes" Gestein. Fragt sich noch, woher die umwandelnden Dämpfe kamen! Darüber gibt es verschiedene Theorien, deren einfachste so lautet, daß große, im Erdinnern liegende Schmelzherde beim langsamen Erkalten ungeheure Dampfmassen abgeben. Sind wir denn aber berechtigt, die Existenz solcher Glutbecken in der Tiefe anzunehmen?

Die vulkanischen Ausbrüche zeigen uns, daß tatsächlich glutflüssige Massen dem Erdinnern entquellen. Aber die Feuerberge besitzen auf der Erdoberfläche nur eine beschränkte Verbreitung, während kristalline Schiefer, wie wir später sehen werden, überall die Grundlage bilden. Hier müssen wir die Beobachtung zu Hilfe nehmen, daß, wo man auch in die Erde eindringt, in Bergwerken, Tunnels, durch Tiefbohrungen, überall eine erhebliche Wärmezunahme festgestellt werden konnte. In den allerobersten Bodenschichten wechselt natürlich die Temperatur mit den Jahreszeiten, doch schon in einer Tiefe von etwa zwanzig Metern stößt man auf die sogenannte neutrale Schicht, deren Temperatur das ganze Jahr unverändert bleibt. Dies gilt auch von jeder tiefer gelegenen Schicht, aber von jetzt an macht sich die aus dem Erdinnern kommende Wärmezufuhr geltend.

Werden nun beispielsweise 20 Meter unter dem Erdboden 10 Grad Wärme gemessen, bei 50 Meter Tiefe aber 11 Grad, so nennt man den Höhenunterschied beider Punkte, also 30 Meter, die geothermische Tiefenstufe des Ortes. Diese gibt also die Anzahl Meter an, die man nach unten vordringen muß, damit die Wärme um einen Grad Celsius zunimmt. Sehr auffällig ist, daß die Tiefenstufe in verschiedenen Gegenden stark voneinander abweichende Beträge ergibt, das Tempo der Wärmezunahme ist hier langsam, dort schnell, und auch in einem und demselben Bohrloch wechselt es in recht unregelmäßiger Weise. So hat man in dem 1070 Meter tiefen Adalbertschacht des Silberbergwerks von Przibram in Böhmen folgende Werte für die geothermische Tiefenstufe gewonnen: 34, 97, 53, 172, 74, 52.8, 68.7, 57.7, 55.9, 135.5, 82.7 Meter. Die Ursache dieser merkwürdigen, auch sonst vielfach beobachteten Sprünge sucht man in der störenden Einwirkung warmer und kalter Quellen sowie in gewissen, Wärme erzeugenden Vorgängen der Gesteinzersetzung.

Wie groß die Gegensätze in verschiedenen Erdgebieten sein können, dafür noch ein paar bezeichnende Beispiele. Während in einem der tiefsten deutschen Bohrlöcher, dem von Schladebach bei Merseburg, die Wärme durchschnittlich alle 36 Meter um einen Grad zunimmt, geschieht dies in den unmittelbar am tiefen, kalten Becken des oberen Sees gelegenen Kupfergruben erst alle 50—70 Meter. In den dortigen Minen von Calumet und Hecla wurden in 1396 Meter Tiefe nur etwa 26 Grad gemessen! Umgekehrt zeigen vulkanische Gebiete eine sehr rasche Wärmezunahme. Im Bohrloch von Neuffen auf der schwäbischen Alb beträgt die geothermische Tiefenstufe nur 11,3 Meter, im Schacht von Comstock-Lode in Nevada, einem der reichsten Gold- und Silberbergwerke der Erde, herrscht schon bei 300 Meter Tiefe eine Wärme von 30 Grad, bei 600 Meter steigt sie auf 45, bei 900 auf 70 Grad! Solch glühende Hitze erschwert natürlich die Arbeit in den Minen ungemein, in manchen Schachten mußte der Betrieb deswegen ganz eingestellt werden, in anderen läßt er sich nur durch ausgiebige Anwendung künstlicher Kühlung aufrechterhalten.

Aus zahllosen Daten hat man einen runden Mittelwert der Tiefenstufe von 33 Metern berechnet. Die tiefsten Bohrlöcher reichen nur 2 Kilometer hinab, was etwa dem 3200. Teil des Erdradius entspricht, also ist bis jetzt nur eine verschwindend dünne Außenschale unseres Weltkörpers der direkten Beobachtung erschlossen. Indessen darf man mit gutem Recht annehmen, daß die Wärmezunahme nach dem Erdkern zu weiter fortschreitet; ob aber mit der gleichen Schnelligkeit, wie in den oberen Schichten, ist unbekannt. Immerhin dürfte sie in Tiefen von 50 bis 100 Kilometern einen Betrag erreichen, bei dem fast alle Stoffe, die wir kennen, zumal Gesteine, Metallerze und

Mineralien, geschmolzen sind. Wir kommen so zu der Vorstellung eines feuerflüssigen Erdinnern, besser ausgedrückt: einer schmelzflüssigen Erdzone, denn im eigentlichen Erdkern herrschen, wie wir später sehen werden, ganz andere Verhältnisse. Diese schmelzflüssige Zone muß in vulkanischen Gegenden der Erdoberfläche viel näher kommen als anderswo, wie der niedrige Betrag der Tiefenstufe beweist.

Wasser, Eis und Wind, die an vielen Stellen der Erdoberfläche durch unablässige Aufschüttung lockerer Massen das Niveau der Erdoberfläche stetig erhöhen, wirken an anderen Orten in hohem Grade zerstörend auf das feste Felsgerüst des Planeten. Flüsse, Bäche und Gletscher graben tiefe Schluchten aus, die sich im Lauf langer Zeiträume zu breiten Tälern erweitern, weitaus bedeutsamer aber ist die ganz im stillen und mit äußerster Langsamkeit vor sich gehende Erniedrigung ausgedehnter Gebiete durch die Abtragung oder Denudation. Die Vorarbeit wird von den mannigfaltigen Kräften der Verwitterung besorgt. Regen, Schnee und atmosphärische Feuchtigkeit, Sonnenhitze, Frost und Sturm, dazu die felszersetzende Tätigkeit der Pflanzenwurzeln lockern Tag für Tag die obersten Bodenschichten, zerkleinern die härtesten Gesteine und bringen es fertig, die stolzeste Felsenburg in ein chaotisches Haufwerk geborstener Trümmer zu verwandeln.

An senkrechten oder sehr steilen Gehängen, wie sie im Hochgebirge die Regel bilden, können die abgelösten Trümmer nicht haften; sobald sich ein wenig Schutt von der Felswand abgelöst hat, prasselt er, dem Gesetz der Schwere folgend, in die Tiefe. Das sind die allen Hochtouristen bekannten und viel gefürchteten Steinschläge. Bisweilen, durch Zusammenwirken mehrerer Ursachen, nehmen solche Felsbrüche außerordentlich große Dimensionen an; ganze Bergwände verlieren plötzlich ihren Halt und stürzen, aufgelöst in ein rollendes Chaos von Felsblöcken, Schutt und Schlamm, hinab in die Täler. Blühende Fluren, Höfe und Dörfer erliegen dem Anprall der Steinlawine, und zahlreiche Menschenleben fallen der meist ganz unerwartet eintretenden Katastrophe zum Opfer.

Wo das Gelände minder schroff ist, bleiben die abgewitterten Massen geraume Zeit liegen, und da sich die Schuttdecke durch fortschreitende Verwitterung und durch Nachschub von oben immer erneuert, scheint sie oft ganz und gar unbeweglich. Aber Regen und Schneeschmelze befördern auch von ganz sanft geneigten Hängen die lockeren Massen langsam zu Tal. Den wirksamsten Schutz gegen die Abtragung bildet eine üppige Vegetation, wie sie für die tropischen Urwälder bezeichnend ist; daher finden wir in der heißen Zone die mächtigsten, oft 100 Meter in die Tiefe reichenden Schuttdecken. Umgekehrt entfaltet die Denudation in pflanzenarmen Gegenden, vor allem in den Wüsten, eine außerordentliche Wirksamkeit. Die abtragende Kraft ist hier freilich nicht das Wasser — jene Gebiete sind ja äußerst regenarm —, sondern der Wind. Durch beständigen Anprall zerstört der Wind die Felsoberfläche und trägt die losgerissenen Stäubchen mit sich fort, er fegt den anstehenden Felsboden rein und legt immer neue Flächen zum Angriff bloß. Während fließendes Wasser und Gletscher den Schutt lediglich bergabwärts führen, vermag der Wind auch eine vollkommene Ebene abzutragen, ja, er kann die Sand- und Staubmassen aus einem tiefgelegenen Becken auf die umgebenden Bergzüge hinaufwehen, die Kämme und Spitzen einhüllen, die Täler ausfüllen und so allmählich die Unebenheiten eines weiten Gebietes ausgleichen und verwischen.

Erster Abschnitt:

Weltalter

Es ist ein alter Glaube auf Erden, daß dem gegenwärtigen Zeitalter eine Reihe anderer vorhergegangen sei, in denen Himmel und Erde, Menschen und Tiere, Sitten, Gebräuche und Lebensbedingungen von ganz anderer Art waren als heutzutage. Am bekanntesten ist wohl der altgriechische Mythus vom goldenen, silbernen, kupfernen und eisernen Zeitalter, dessen glänzendste Darstellung wir freilich keinem Griechen, sondern dem römischen Dichter Ovid verdanken (Metamorphosen Buch I). Als das Chaos, die „rudis indigestaque moles", geordnet und in Formen gebracht war, als die Natur den Himmel von der Erde und dem Wasser geschieden, Seen und Flüsse, Berge und Täler gestaltet, Pflanzen, Tiere und Menschen erschaffen, als im Himmel Kronos (Saturnus) regierte, lebten auf Erden die Geschöpfe ohne Sorgen und Mühe in unvergänglicher Jugend und Heiterkeit, in der Fülle aller Gaben, die ein ewiger Frühling ihnen bescherte. Ungepflügt trug der Boden reiche Ernten, unbekannt waren Krieg, Raub und Sklaverei. Kam endlich der Tod, so überraschte er die Menschen wie ein sanfter Schlummer. Dieser ideale Zustand nahm ein Ende, als Zeus den Kronos stürzte. Das silberne Weltalter begann und mit ihm eine erheblich schlechtere Zeit. Der neue Götterkönig setzte, des ewigen Frühlings satt, die vier Jahreszeiten ein und zwang dadurch die Sterblichen, gegen Unbilden des Wetters sich Wohnungen zu erbauen. Auch mit der wunderbaren Fruchtbarkeit der Erde war es vorbei, zum Ackerbau mußte der Erdbewohner seine Zuflucht nehmen. Die neu erschaffenen Menschen des silbernen Zeitalters waren durchaus kein Meisterwerk. 100 Jahre blieb das Kind auf dem Schoß der Mutter, und waren sie endlich erwachsen, so lebten sie vor Unvernunft und Übermut nur kurze Zeit, wurden gleich miteinander handgemein und wollten auch den Göttern nicht die Ehre geben, — kein Wunder, daß Zeus sie im Zorn in die Unterwelt versetzte. Aber was nachkam, war kaum besser: das „eherne" Geschlecht, von Zeus aus Eschen erschaffen, Riesen von ungeheurer Stärke, so wild und gewalttätig, daß sie im Bruderkrieg einander bis auf den Letzten aufrieben. Noch schlechter wurde es auf der Welt, als das vierte Geschlecht geschaffen war; Lug und Trug, Habgier und tückische Hinterlist hielten ihren Einzug in die verderbte Welt; zum Himmel flohen Treue, Scham und Glauben. Wenig half es, daß die Götter diese Ruchlosen durch eine Sintflut vernichteten; das nun folgende fünfte Geschlecht ist um kein Haar besser als das vierte, verfällt immer mehr und geht mit raschen Schritten seinem Ende entgegen.

Diese mythische Entwicklungsgeschichte der Menschheit wird durchaus vom Gedanken der Degeneration beherrscht, in vollendetem Gegensatz zu unserer heutigen Auffassung. Alles wird im Lauf der Zeit elender und schlechter! Klima, der Ertrag des Bodens, Lebensdauer, Wuchs und Kraft der Menschen, vor allem Frömmigkeit und Moral. Selbst den Kulturfortschritt faßt die alte griechische Sage als etwas Übles, Verderbliches auf; am glücklichsten waren die Menschen, als sie weder Staat noch Gesetze kannten, vom Ackerbau, von Schiffahrt, von Gold und Goldeswert nicht die leiseste Ahnung hatten. Wie die Natur, so ist auch der Mensch entartet; er geht einen verhängnisvollen Weg, der immer zu neuen Katastrophen führt . . . . . Wir haben heutzutage eine andere Ansicht von diesen Dingen.

Der Merkwürdigkeit halber sei hier auch die Tradition der alten Mexikaner von den vier Weltaltern wiedergegeben. Sie ist natürlicher und ursprünglicher als die griechische Sage, insofern sie nichts von Entartung und Rückschritt weiß, vielmehr die Erde als den Kriegsschauplatz zweier Naturmächte, des Lichtes und Feuers gegen Finsternis und Wasser, betrachtet. Die erste ist personifiziert in Quetzalcoatl, dem Licht-, Luft- und Gewittergott, der aber auch mancherlei vom Vulkangott an sich hat, die andere in Tezcatlipoca, einer unheimlichen Gottheit der Nacht, der Feuchtigkeit und Kälte. Tezcatlipoca galt als der höchste, mächtigste Gott, der immer jung und stark blieb, während die übrigen Götter, auch sein großer Gegner Quetzalcoatl, mit der Zeit alterten und

von Kräften kamen. Es hieß, sein Körper sei ganz aus dünner Luft und Finsternis gebildet, und wenn er sich vor Menschen sehen ließ, glich er einem körperlosen Schatten.*)

Im Anfang hatten die vier höchsten Götterbrüder Feuer, Himmel, Erde, Menschen und eine halbe Sonne erschaffen. Die halbe Sonne erleuchtete die Welt nur armselig; darum vereinigten sich die Viergötter zu einer Beratung, wie man sie zu einer ganzen vervollständigen könnte. Aber Tezcatlipoca wartete ihre Entscheidung nicht ab, sondern versetzte sich selbst als Sonne an den Himmel. Der Gott der Finsternis und Kälte als Sonne! Man kann sich denken, daß die übrigen damit nicht einverstanden waren. Erbost über die Anmaßung ihres Bruders, erfüllten sie die Welt mit wilden Riesen von ungeheurer Stärke. Ein ganzes Weltalter blieb Tezcatlipoca unumschränkter Herrscher, dann ergriff Quetzalcoatl einen riesigen Stock, schlug den feindlichen Bruder vom Himmel in die Gewässer hinab und machte sich selbst zur Sonne. Der gestürzte Gott verwandelte sich in einen Tiger, tauchte aus den Wogen auf und verschlang das gesamte Riesengeschlecht. Dann ging er an den nächtlichen Sternenhimmel, womit das erste Weltalter seinen Abschluß fand.

Im zweiten blühte die Erde lange Zeit unter Quetzalcoatls milder Herrschaft, aber schließlich erschien Tezcatlipoca von neuem in Tigergestalt und versetzte dem Lichtgott einen so heftigen Hieb mit der Tatze, daß er in die Tiefe flog. Quetzalcoatl rächte sich, indem er gewaltige Stürme über die Erde brausen ließ, die alles Lebende vernichteten bis auf wenige Menschen, die zu Affen wurden. Tezcatlipoca verlieh die Würde des Sonnengottes dem Tlaloc, der bisher der Herrscher der Dunkelheit, des Wassers und des Regens gewesen war. Wie er sich in seine neue Rolle fand, darüber berichtet der Mythus nichts. — Als das dritte Weltalter zu Ende ging, raffte sich wiederum Quetzalcoatl auf, überschüttete die Erde mit Feuer und vertrieb den Tlaloc. Aber er setzte eine andere Wassergottheit als Sonne ein, und das war eine üble Wahl; denn alsbald brachen heftige Regengüsse los, die sich so steigerten, daß die ganze Erde überschwemmt wurde, die Menschen ertranken, und am Ende gar der ganze Himmel, seiner Fundamente beraubt, einstürzte und Sonne und Sterne mit sich in die Tiefe riß. Mit diesem allgemeinen Zusammenbruch schließt das vierte Weltalter.

Die feindlichen Brüder schlossen angesichts der furchtbaren Katastrophe Waffenstillstand und vereinten ihre Kräfte zur Wiederaufrichtung des Himmels. Auf zwei Riesenbäume stützten sie ihn, auf den „Baum des Spiegels" und den „wunderschönen großen Rosenbaum" (gemeint sind das Meer und das blühende Land). Quetzalcoatl schuf einen ganz neuen Sonnengott, Tlaloc den Mond und Tezcatlipoca die Sterne. Die Menschen der neuen Erde stammen von sieben Heroen ab, die, in tiefen Höhlen verborgen, dem allgemeinen Verderben entgangen waren.

Das fünfte Weltalter unter Quetzalcoatls Regierung war nach Meinung der alten Azteken das gegenwärtige, aber sie wußten auch, daß der finstere Tezcatlipoca im geheimen seine Zeit erwartet. Einst wird der nächtliche Gott die Sonne vom Himmel stehlen und für sich behalten. Dann steigen zwei furchtbare Weiber, fleisch- und gebeinlos, vom Himmel herab und verzehren das Menschengeschlecht. Ewige Nacht wird fortan die Erde bedecken, und dies wird der Untergang der Welt sein. —

Das Merkwürdige an dieser zweifellos echten und uralten Mythe besteht darin, daß sie mit vollkommener Deutlichkeit einen Wechsel kalter und warmer Zeitalter feststellt. Selbstverständlich in naiver, phantastischer, einem Barbarenvolk angemessener Weise, aber das ändert nichts an der Bedeutung des Ganzen. Abwechselnd üben Gottheiten des Lichts, der Wärme und Trockenheit und solche der Finsternis, Kälte und Nässe die Herrschaft über die Erde aus, ein Gedanke, der, seines phantastischen Gewandes entkleidet, in den Ergebnissen der modernen Geologie eine eigenartige Bestätigung findet. Denn wir wissen heute, daß im Lauf der Erdgeschichte Zeiträume eines sehr warmen, auf weiten Gebieten der Erde fast gleichartigen Klimas mehrfach abgewechselt haben mit ausgesprochenen Kälteperioden, in denen sich zeitweise eine Vereisung ausgedehnter Landstrecken herausbildete. Die Ursachen dieses merkwürdigen Hin und Her, das der älteren Lehrmeinung von der fortschreitenden Abkühlung der Erde geradezu ins Gesicht schlägt, sind noch unbekannt: auf einige Erklärungsversuche kommen wir im Lauf dieses Abschnitts zu sprechen.

Wie verhält es sich nun in Wahrheit mit

*) Zur Erklärung der unserem Ohr sehr fremdartig klingenden Namen sei bemerkt: Quetzalcoatl bedeutet „Vogelschlange", womit wohl der Blitz gemeint ist, Tezcatlipoca „rauchender Spiegel", was sich nach Brinton auf die nächtliche, nebelbedeckte Wasserfläche bezieht.

den Weltaltern — nicht jenen Produkten einer mythenbildenden Phantasie, sondern den Epochen der Erdgeschichte, von denen die moderne Naturwissenschaft als etwas Tatsächlichem zu berichten weiß? Um sie kennen zu lernen, wird es am besten sein, rückwärtszugehen, d. h. mit der jüngst vergangenen Epoche zu beginnen. Denn die ältesten liegen hinter dem Schleier einer unvorstellbar entlegenen Vorzeit verborgen, und was wir von ihnen wissen, erscheint zum größten Teil so fremdartig und rätselhaft, daß Begreifen und Erklären oft unüberwindliche Schwierigkeiten finden.

▣

Im voraus sei bemerkt, daß wir in der Erdgeschichte mit gar gewaltigen Zahlen rechnen. Hunderttausend Jahre wollen da weniger besagen als ein einzelnes Jahrhundert in der menschlichen Geschichte, d. h. dem Zeitraum, aus dem geschichtliche Aufzeichnungen vorliegen. Eine sehr mäßige Schätzung gibt die seit Bildung der ältesten Schichtgesteine verflossene Zeit auf fünfzig Millionen Jahre an. Wahrscheinlich ist diese Zahl viel zu klein, und wenn man sich auch nicht, wie manche Forscher wollen, zu einer Milliarde von Jahren zu versteigen braucht, dürfen doch 100 Jahrmillionen für das Alter des organischen Lebens auf der Erde mit Sicherheit angenommen werden.

Der Leser merkt schon, daß es mit der Chronologie der Erdgeschichte schwach bestellt ist. Wenn so weit voneinander abweichende Schätzungen möglich sind! . . . . . In der Tat muß man alle Versuche, die Dauer der erdgeschichtlichen Perioden in engeren Grenzen zu bestimmen, als fehlgeschlagen betrachten. So wissen wir auch nicht annähernd, wann etwa die gegenwärtige Epoche ihren Anfang nahm. Die Schätzungen bewegen sich zwischen 20 000 und 200 000 Jahren. Immerhin steht fest, daß unser „Weltalter" einen nur winzigen Bruchteil der ungeheuren Zeiträume ausmacht, die wir auf Grund der Entwicklungslehre für die Geschichte der Erde voraussetzen müssen.

Zu bedenken ist auch, daß eine geologische Periode weder einen bestimmten Anfang noch Abschluß hat. Sie ist in jedem Fall mit den vorhergehenden und nachfolgenden durch Übergangszeiten verbunden, die ihrerseits wieder Hunderttausende von Jahren umfassen können. Der menschliche Zeitbegriff versagt da völlig. —

Diluvium oder Eiszeit.

Verfolgen wir die Geschichte unseres Zeitalters rückwärts, so stellt sich heraus, daß es nach mehrfachen Schwankungen allmählich in eine Periode bitterer Kälte übergeht. Denken wir uns, der Nordpol sei 20 Grad südlich, etwa ins nördliche Skandinavien, verlegt, so würde das für Nord- und Mitteleuropa eine Klimaverschlechterung etwa von dem Grade bedeuten, wie sie die „Eiszeit" charakterisiert. Von „Eiszeit" spricht man, weil im Verlauf jener Kälteperiode weite Ländergebiete, in denen heute eine hochentwickelte Kultur blüht, von mächtigen, zusammenhängenden Eismassen bedeckt wurden. Ein anderer Name ist Diluvium, d. h. „Sintflut", er geht auf ältere, heutzutage überwundene Anschauungen zurück, nach denen die Schotter-, Kies- und Lehmmassen der Eiszeit nicht von alten Gletschern, sondern von gewaltigen Wasserfluten an Ort und Stelle geschafft sein sollten.

Wie sah es nun damals bei uns aus? In Nordeuropa war alles Leben unmöglich. Die skandinavischen Länder, der größte Teil Rußlands, die ganze norddeutsche Tiefebene und die britannischen Inseln lagen unter einer gewaltigen Decke von Inlandeis begraben. Vom skandinavischen Hochgebirge ausgehend, füllte das Eis die Becken der Nord- und Ostsee aus, schritt über sie hinweg, bedeckte ganz Jütland und Schleswig-Holstein und drang zur Zeit seiner größten Ausdehnung bis Zittau, Dresden, Weimar, Nordhausen, Holzminden, Dortmund und Duisburg vor. Ein zweiter Mittelpunkt der Vereisung lag in den Alpen, doch vermochten wegen der mehr südlichen Lage die alpinen Gletscher nicht so weit ins Flachland vorzurücken wie die norddeutschen. Immerhin reichten sie zeitweise bis Basel, bis Sigmaringen an der Donau, bis in die Nähe von München, auf der anderen Seite des Gebirges weit in die oberitalienische Tiefebene hinein. Wie gewaltig auch die alpinen Eismassen waren, erhellt vor allem aus zwei Umständen: Einmal wissen wir, daß sie die Täler noch in ihren unteren Strecken, z. B. das Inntal bei Kufstein, bis zu einer Höhe von 1500 Metern vollständig ausfüllten, zweitens, daß sie an zwei Stellen den Schweizer Jura, ein Gebirge von der

Höhe der Voralpen, überschritten und mächtige Eiszungen weit nach Frankreich hineinsandten. Den ganzen Nordfuß der Alpen umgürtete ein zusammenhängender, bis 70 Kilometer breiter Eispanzer.

So war es in unserem Weltteil, aber die Kälte hat sich damals über die ganze Erde verbreitet. Noch bedeutend größer als die europäische war die nordamerikanische Landeisdecke; sie begrub unter ihrer Last ganz Englisch-Amerika und reichte in den Vereinigten Staaten bis St. Louis und Cincinnati herab. In Südamerika war das ganze riesige Kettengebirge der Anden, von Colombia bis Patagonien, vergletschert, in der heißen Zone allerdings nur die höchsten Gebirgslagen. Ebenso tragen die unter dem Äquator gelegenen Vulkanriesen Innerafrikas, der Kenya und Ruwenzori, deutliche Spuren einer starken Vergletscherung. Endlich hat man auch auf Australien und Neuseeland eine mit der europäischen gleichzeitige Vergletscherung nachgewiesen.

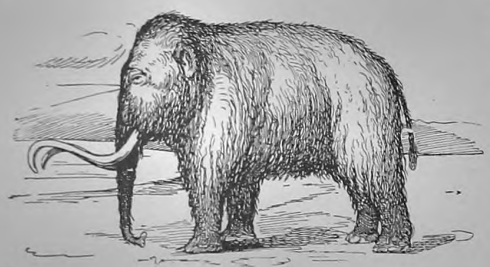


Abb. 4. Das Mammut.
Nach der Rekonstruktion von Konservator E. Pfizenmayer, Tiflis.

Die eisfreien Gebiete Mitteleuropas, im wesentlichen Frankreich und Süddeutschland, besaßen selbstverständlich ein ausgesprochenes Polarklima. Bewiesen wird dies durch die zahlreichen Reste hochnordischer Tier- und Pflanzenformen, die man in „diluvialen" Ablagerungen gefunden hat. Weite Strecken Deutschlands müssen damals nordsibirischen Tundren geglichen haben: überwachsen vom einförmigen Gestrüpp der Zwergbirken und der Zwergweiden, waren sie belebt von einer hochnordischen Tierwelt: Renntier, Moschusochse, Schneehase, Lemming, Eisfuchs, Vielfraß, Schneehuhn usw. Ein arktisches Tier war auch das Mammut (Abb. 4.), ein Elefant mit dichtem, rotbraunem Haarpelz und gewaltigen, S-förmig gekrümmten Stoßzähnen. Es scheint in der jüngeren Eiszeit bei uns wie in Nordasien herdenweise gelebt zu haben; ganze, mit Haut und Pelz erhaltene Leichen hat man öfters im sibirischen Eisboden eingefroren gefunden. Des Mammuts steter Begleiter war ein riesiges Nashorn, gleichfalls durch ein dickes Wollkleid gegen die eisige Kälte geschützt. Als das Klima gegen Ende der Eiszeit wärmer wurde, wanderten alle diese Tiere nach dem Norden zurück, auch Mammut und Nashorn, die sich in Sibirien noch einige Zeit hielten und dann ausstarben. Einzelne Formen, wie Murmeltier und Steinbock, retteten sich vor der zunehmenden Wärme in die Hochgebirge, und dasselbe taten manche Pflanzen, die auf den höchsten Bergen Deutschlands als fremdartige Überbleibsel jener schlimmen Zeiten noch jetzt zu finden sind. Zu ihnen gehört die Silberwurz (Dryas octopetala, Abb. 5), eine echt polare Pflanze, die heutzutage nur noch auf den Felsgipfeln der Alpen gedeiht, aber in der Eiszeit über ganz Norddeutschland und Mitteldeutschland verbreitet war. Auch manche Steinbrecharten, das Alpen-Wollgras, der spitzkeimende Knöterich (Polygonum viviparum) sind Reste unserer ehemals arktischen Pflanzenwelt.

Indessen findet man in gewissen eiszeitlichen Schichten ganz andere Pflanzen. Da haben sich Reste des Ahorns, der Erle, Stechpalme, Linde, Pappel, Eibe, Eiche, Fichte erhalten, also von Bäumen, die auch heute bei uns sehr verbreitet sind, ja, in entsprechenden Schichten der Alpen hat man den immergrünen Buchsbaum und eine Alpenrose (Rhododendron ponticum) entdeckt, die jetzt im warmen Kleinasien beheimatet ist. Wie soll man diese Funde mit einem „polaren" Klima in Einklang bringen?

Abb. 5. Dryas octopetala, die achtblättrige Silberwurz.

Ganz einfach: es hat warme „Zwischeneiszeiten" gegeben. Das nordeuropäische Landeis wie auch die Riesengletscher der Alpen schmolzen zeitweise fast vollständig ab. In Skandinavien mag ein kleiner Rest übriggeblieben sein, aber ganz Deutschland war eisfrei, und die Gletscher in den Alpen vermutlich kleiner als heutzutage.

Die Geologen haben einen mehrfachen Wech-

sel warmer und kalter Perioden innerhalb der Diluvialzeit festgestellt. In Norddeutschland und Skandinavien unterscheidet man drei „Eiszeiten" und zwei „Zwischeneiszeiten", in den Alpen deren vier, beziehungsweise drei. Die Ursachen dieser wiederholten Klimaänderung sind gänzlich unbekannt.

In den warmen Zwischeneiszeiten wird der landschaftliche Charakter Mitteleuropas im großen und ganzen dem heutigen ähnlich gewesen sein. Das beweisen die oben erwähnten Pflanzenfunde. Aber die Tierwelt war eine andere. Zahlreiche Arten, die vor der zunehmenden Kälte in südliche Länder entwichen waren, drangen wieder nordwärts vor. Zu ihnen gehörte der „Urelefant" (Elephas primigenius), ein naher Verwandter des Mammuts, sowie mehrere Arten von Riesenhirschen; vor allem aber belebten Herden wilder Pferde, Auerochsen und Wisente die damaligen Wälder.

Ein Begleiter dieser jagdbaren Tiere war der Mensch. Im eisfreien Süddeutschland wird er während der ganzen Diluvialzeit gelebt haben und in den warmen Zwischenperioden seinem Jagdwild in die nördlichen Gegenden gefolgt sein. Es war aber noch nicht der heutige Mensch, Homo sapiens, sondern eine ältere, mehr affenähnliche Art, gewöhnlich als Homo primigenius (Urmensch) bezeichnet. Dieser nächste Vorfahre von uns besaß eine ungemein niedrige und flache, „fliehende" Stirn, daher auch ein entsprechend kleineres Gehirn, ferner stark verdickte, wulstig vortretende Augenbrauenbogen (Abb. 6). Der Vorsprung des Kinns fehlte ihm vollständig, und aus der Gestalt der Schenkelknochen darf man schließen, daß der Urmensch noch nicht aufrecht gehen konnte. Kulturell stand diese älteste Bevölkerung Europas auf der Stufe der älteren Steinzeit, d. h. der roh behauenen, ungeschliffenen Steingeräte. Die Töpferei kannte man nicht, wahrscheinlich waren auch Pfeil und Bogen noch nicht erfunden. Als Nahrung diente ausschließlich die auf der Jagd und beim Fischfang gemachte Beute, von Viehzucht, geschweige denn von Ackerbau, war keine Rede.

Die Dauer jeder Eiszeit und Zwischeneiszeit müssen wir uns sehr lang vorstellen, vielleicht fünfzig- oder gar hunderttausend Jahre. Hier öffnet sich nun ein interessanter Ausblick. Die Nachwehen der letzten großen Vereisung scheinen sich in Nordeuropa und den Alpen noch fühlbar gemacht zu haben, als Vorderasien und Ägypten schon am Beginn der geschichtlichen Zeit standen. Unser heutiges Weltalter dauert also, geologisch gesprochen, erst kurze Zeit, und der Gedanke liegt nahe, daß es wiederum nichts anderes ist als eine Zwischeneiszeit. Eine ansehnliche Reihe Forscher vertreten diesen Standpunkt, zu dessen Gunsten sich mancherlei anführen läßt. So hat man berechnet, daß in Skandinavien die mittlere Temperatur des Hochsommers während der letzten hundert Jahre um einen halben Grad abgenommen hat. In der Schweiz wie in Norwegen reicht die Waldgrenze nicht mehr so hoch hinauf wie früher, und die Zeit der Schweizer Weinlese soll seit dem Mittelalter immer später gekommen sein. Auch ist Tatsache, daß die Gletscher beider Länder im

Abb. 6. Schädel des Urmenschen, gefunden bei Spy in Belgien.

Mittelalter weit geringere Ausdehnung besaßen als heutzutage. Etwa vom Jahr 1600 an kamen sie stark ins Wachsen, sind aber in den letzten 30 Jahren wieder erheblich zurückgegangen. Ob wir wirklich einer neuen Eiszeit entgegengehen, bleibt sonach fraglich, vielleicht handelt es sich nur um eine vorübergehende Klimaverschlechterung im kleinen Maßstabe. Manche Forscher sind sogar der Ansicht, daß die Zunahme der vulkanischen Tätigkeit, die in den letzten Jahrzehnten zu beobachten war und allem Anschein nach fortdauert, eine allmähliche Erwärmung der ganzen Erde zur Folge haben wird.

Soviel ist sicher: wir leben noch heute in einer ziemlich kalten Periode der Erdgeschichte. Das lehrt uns der Rückblick auf vergangene Zeitalter, vor allem auf die sogenannte Tertiärperiode, die Vorgängerin der Eiszeit. Sie war, wenigstens bis zur Mitte, durch eine wunderbare, über die ganze Erde verbreitete Wärme ausgezeichnet. Auffällig ist, daß sie zugleich eine Epoche ungemein starker vulkanischer Ausbrüche war, was man zugunsten der zuletzt erwähnten Ansicht deuten kann.

Die Tertiärzeit.

Will man die Tertiärzeit mit ein paar Worten charakterisieren, so darf man sagen: sie war ein Zeitalter der Revolutionen. Alle Kräfte der Tiefe, die sonst nur an einzelnen Stellen der Erdkruste und in langen Pausen sich zu betätigen pflegen, schienen gleichzeitig befreit und vereinigten sich zu dem Riesenwerk, die Erdoberfläche von Grund aus umzugestalten. Weite Landstriche wurden in verhältnismäßig raschem Wechsel Meer und dann wieder Land; andere hoben sich weit über ihr bisheriges Niveau, und diese Hebungen gipfelten in der Aufrichtung ungeheurer Kettengebirge, deren weit gespannte Bogen sich quer über die Kontinente wölbten. Alpen, Apennin und Karpathen, Kaukasus, Himalaja, Atlas, die nord- und südamerikanischen Kordilleren und viele andere unserer höchsten Gebirge sind in der Tertiärzeit entstanden. Hand in Hand damit ging eine gewaltige Steigerung der vulkanischen Tätigkeit. Auch sie türmte mancherorts ansehnliche Bergmassen auf, die freilich an Höhe und Ausdehnung mit den durch Faltung aufgerichteten Kettengebirgen keineswegs wetteifern konnten. Um nur bei Deutschland zu bleiben: die vulkanische Eifel, das Siebengebirge, die Rhön und der Vogelsberg sind fast ganz aus Lavaergüssen tertiärer Vulkane aufgebaut. Überhaupt zieht sich durch ganz Mitteldeutschland, von der belgischen bis zur fernen galizischen Grenze, eine tertiäre Vulkanzone, mit zahllosen, in einzelnen Gegenden massenhaft angehäuften Lavakuppen und Kegelbergen. Näheres darüber werden wir im zweiten Abschnitt hören.

Die heutige Verteilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche ist ebensogut ein Werk der Tertiärzeit wie das Bodenrelief der Kontinente (Gebirge, Täler und Niederungen). Daraus ergibt sich, daß auch die Anlage unserer Flußsysteme im wesentlichen auf jenes Zeitalter zurückgeht; hier hat jedoch die Eiszeit mancherlei geändert.

Wie ein Blick auf den Erdglobus zeigt, sind die gegenwärtigen Festländer im allgemeinen von Norden nach Süden gestreckt.*)

Nehmen wir die Nordkante von Asien aus, so besitzen alle ost-westlich streichenden Küsten nur geringe Ausdehnung. In der Vorzeit herrschte umgekehrt die ost-westliche Richtung vor. Die ungeheure, von Norden nach Süden über den Planeten gezogene Furche des Atlantischen Ozeans existierte zur älteren Tertiärzeit noch nicht in zusammenhängender Gestalt. Ein breiter Kontinent, die nordische „Atlantis", vereinigte das arktische Amerika, Grönland und Nordeuropa zu einer einzigen Landmasse, während im Süden eine ähnliche Landbrücke Brasilien mit Ostafrika verband.

Bestimmend für das Relief der östlichen Halbkugel war vor allem ein großes, dem Äquator paralleles Mittelmeer, das vom heutigen Westindien über Südeuropa, Nordafrika, Kleinasien, Persien und Ostindien bis Südchina reichte und auch mit den australischen Meeren in Verbindung gestanden haben mag. Dieses gewaltige Weltmeer, von dem unser „Mittelländisches Meer" ein unbedeutender Rest ist, brandete im Norden und Süden an den Küsten uralter Festländer, die gleichfalls von West nach Ost sich streckten und den heutigen Kontinenten sehr unähnlich waren. Auch mancherlei Inseln und Inselgruppen mag es getragen haben, z. B. an Stelle der heutigen Alpen und Karpathen, über deren Gebiet hinaus es bis nach Süddeutschland, Österreich und Galizien reichte.

Das tertiäre Mittelmeer, von dem berühmten Geologen Sueß mit dem Namen „Tethys"*) belegt, war ein Erbstück aus weit älteren geologischen Perioden. Ungezählte Jahrmillionen hindurch hat es im breiten Gürtel von Ost gen West geflutet mit wechselnder Ausdehnung und Umgrenzung, aber im großen und ganzen stets von gleichem Charakter. Blühender Tiergeschlechter Geburtsstätte und Grab ist es gewesen; stolze Hochgebirge sind über ihm aufgestiegen und wieder in Schutt und Staub dahingesunken; an wechselnden Küsten hat es gebrandet, bald sumpfige Dickichte tropisch üppiger Pflanzenwelt, bald öde, grellrote Sandwüsten bespült. Erst in der jüngeren Tertiärzeit sank die „Tethys" vom Weltmeer zum Binnenmeer herab. Arabien und Teile von Ägypten und Syrien stiegen über den Wasserspiegel und schlossen die bis dahin stets offen gehaltene Verbindung mit dem Indischen Ozean. Das war etwas ganz Neues in der Erdgeschichte, eine jener folgenschweren Revolutionen, deren die Tertiärzeit uns eine ganze Reihe bescherte. Denn es ist nicht zu bezwei-

*) Eine der gebräuchlichsten Erdkarten (in Mercators Projektion) gibt ein falsches Bild von der Ausdehnung der Küsten.

*) Tethys hieß in der griechischen Mythologie die Gemahlin des Meergottes Okeanos.

feln, daß die Verkleinerung der „Tethys", ihre Verdrängung aus den heißen Äquatorialgegenden von sehr ungünstigem Einfluß auf das europäische Klima gewesen ist.

Man pflegt das tertiäre Weltalter in vier Unterperioden zu zerlegen: Eozän, Oligozän, Miozän und Pliozän (diese Namen lassen sich nicht gut übersetzen). Es ist von höchstem Interesse, die Schicksale der leblosen wie der lebenden Natur in diesen vier Zeitaltern etwas genauer zu verfolgen; denn wie die Erdoberfläche eine vollkommene Umgestaltung erlitt, so vollzog sich auch im Charakter der herrschenden Tier- und Pflanzenformen ein ungemein rascher Wechsel. Die Entwicklung bewegte sich damals, sozusagen, im Tempo des Expreßzuges. Es gibt nur noch eine Periode der Erdgeschichte, die hierin mit der Tertiärzeit wetteifern kann, das ist die weiter unten geschilderte Permzeit.

Wir berücksichtigen im folgenden lediglich die europäischen Verhältnisse.

Im ältesten Tertiär, dem Eozän, war Deutschland fast in seiner ganzen Ausdehnung trockenes Land. Nur im äußersten Süden, dort wo jetzt die Ketten der Nordalpen sich auftürmen, brandeten die warmen Wellen der „Tethys". Auch im Norden war Meer, ein Arm des Atlantischen Ozeans, der einen schmalen Streifen der heutigen Nord- und Ostseeküsten, außerdem Südengland, die Niederlande und Dänemark bedeckte. Im übrigen ein breites Festland, das wahrscheinlich bis zum Ural reichte.

Wie das eozäne Deutschland ausgesehen hat, wissen wir nicht. Doch spricht manches dafür, daß Schwarzwald, Vogesen, Odenwald, Sudeten ungefähr in ihrer heutigen Gestalt vorhanden waren. Woher diese uralten Gebirge stammen, werden wir später erfahren. Die vulkanischen Bergländer Mitteldeutschlands aber existierten noch nicht.

Das Klima war heiß und trocken, „afrikanisch". Laubwälder gab es bei uns, wenn überhaupt, nur in höheren Gebirgen; ihre Heimat während des Eozäns war die Polarzone, auf Spitzbergen, Island, Grönland hat man zahlreiche Reste von ihnen gefunden. In den Niederungen Westeuropas herrschten die immergrünen Gewächse vor, Kokos-, Dattel- und Zwergpalmen, Lorbeer-, Zimt- und Feigenbäume, Araukarien und Mammutskiefern, dazwischen auch manche Bäume mit fallendem Laub, wie Platanen, Pappeln, Erlen und Ulmen. Im ganzen trägt diese namentlich in England und Frankreich nachgewiesene Pflanzenwelt ein durchaus tropisches Gepräge.

Damit stimmt der Charakter der in gleichzeitigen Schichten gefundenen Weichtiere überein: neben vielen anderen Formen große, verzierte Kegel- und Turmschnecken, Porzellan- und Spindelschnecken (Beispiele abgebildet auf der Tafel „Jüngeres Tertiär"), deren nahe Verwandte heute in tropischen Meeren leben.

Vor allem aber interessieren uns die Vertreter des Tierstammes, aus dem der Mensch selbst hervorgegangen ist, die Säugetiere. Die älteste tertiäre Säugetiergesellschaft von Europa tritt in gewissen Schichten der Umgegend von Reims auf. Wohlverstanden, handelt es sich hier um jene höher entwickelte Säugerklasse, bei der das junge Tier seine vollkommene Ausbildung im Mutterleibe empfängt, also um die „plazentalen" Säuger; die niedriger stehende Klasse der Beutler ist schon

Abb. 7. Phenacodus primaevus, von der Größe eines Marders, gefunden im Eozän von Wyoming.

viele Jahrmillionen früher aufgetaucht. Jene eozänen Plazentatiere sind nun eigentümlich primitive Formen, die eine Anzahl Merkmale heute scharf geschiedener Säugetierordnungen in sich vereinigen (sogenannte Sammeltypen). So gibt es unter ihnen Huftiere, die noch halb Raubtiere sind, und Raubtiere, die noch mancherlei von Beutlern und Insektenfressern an sich haben. Bei den Huftieren hatte sich die Trennung in Paar- und Unpaarhufer noch nicht vollzogen, sie besaßen überhaupt keinen eigentlichen Huf, sondern traten mit der ganzen Sohle ihres fünfzehigen Fußes auf. Ihr am besten bekannter Vertreter ist Phenacodus (Abb. 7), er gilt als Ahnherr des Pferdes, was man ihm nicht leicht ansieht. Abgesehen von der ganz abweichenden Fußbildung unterscheiden sich diese Tiere durch ihr Gebiß in auffallender Weise von den späteren Huftieren. Die niedrigen Zähne trugen vereinzelt stehende Höcker, eine Ausbildung, die sich heute nur noch bei

den Schweinen erhalten hat. Das heutige Pferd besitzt bekanntlich hohe, säulenförmige Zähne, ohne Höcker, dafür mit einem Wirrwarr krauser Schmelzfalten, kurz einen für reine Pflanzennahrung ideal geeigneten Kauapparat. Aus dem Gebiß des Phenacodus aber darf man schließen, daß er neben der Pflanzenspeise auch fleischliche Kost nicht verschmähte, also ein „Allesfresser" war. An Schnelligkeit des Laufes hat er die späteren Geschlechter des Pferdestammes keinesfalls erreicht.

Ebenso primitive Merkmale wie die ältesten Huftiere besitzen auch die eozänen Raubtiere. Ihnen fehlt vor allem der Reißzahn, jene später so mächtig entwickelte Waffe der Fleischfresser. Arctocyon, eine der ältesten Formen, besaß noch ein ganz schweinsartiges Gebiß. Das Gehirn der Tiere war im Verhältnis zum Schädel auffallend klein.

Eine sehr verbreitete Tiergruppe waren damals die Halbaffen. Auch sie zeigen vielfache Anklänge an Huftiere, Insektenfresser und Urraubtiere. Alle diese heute so scharf geschiedenen Gruppen gingen damals noch ineinander über. Zittel, einer der besten Kenner vorweltlicher Säugetiere, hat einmal geäußert: „Wäre es möglich, den alteozänen Tiergestalten Leben einzuhauchen und sie unter unsere heutige Säugetierfauna zu versetzen, so würde vermutlich jeder Zoologe die damaligen Urfleischfresser, primitiven Huftiere und Halbaffen in eine einzige, einheitliche Ordnung zusammenfassen, obwohl sie unzweifelhaft die Vorläufer von vier nachmals stark differenzierten Gruppen darstellen. Dieses Zusammenwachsen verschiedenartiger Stämme in eine gemeinsame Wurzel bildet eines der stärksten Argumente zugunsten der Deszendenztheorie."

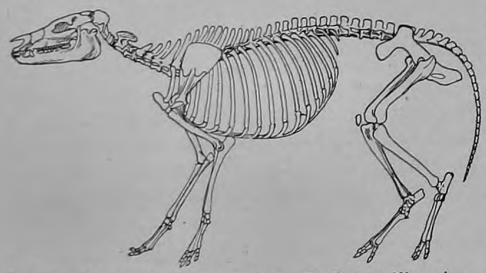


Abb. 8. Hyracotherium venticulum. Eozän von Wyoming.

Die Übereinstimmung der Charaktere, das Verschwimmen der Säugetierordnungen ineinander, verliert sich mehr und mehr, in je höhere, also später abgelagerte Schichten wir emporsteigen. Schon im mittleren und jüngeren Eozän finden wir die Haupttypen weit schärfer ausgeprägt. Die Trennung der Paarhufer und Unpaarhufer ist bereits eingetreten; zu jenen gehört das schlanke, zweizehige, hirschartig gebaute Xiphodon, zu den Unpaarhufern ein primitiver Vorläufer des Pferdes, das

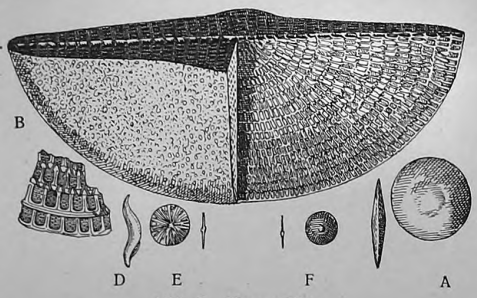


Abb. 9. Nummuliten.
A Orbitoides papyracea aus dem eozänen Eisenerz vom Kressenberg in Oberbayern. B Dieselbe stark vergrößert. D—F Andere Orbitoiden vom Kressenberg und von Verona.

Hyracotherium (Abb. 8), das noch schweinsartige Zähne besaß, aber im Fußbau bereits einen entschiedenen Schritt vorwärts getan hatte. (Vorn vier, hinten drei Zehen, während sein älterer Verwandter, der Phenacodus, an allen Extremitäten fünfzehig war.) Auch die Fleischfresser sind schärfer von den übrigen Gruppen getrennt, wennschon echte Raubtiere mit wohlentwickeltem Reißzahn im ganzen älteren Tertiär ziemlich selten bleiben.

Wem die Gelegenheit geboten ist, am Nordrand der Alpen oder in südeuropäischen Ländern eozäne Schichten auf Versteinerungen zu durchsuchen, der wird schwerlich irgendwelche Reste der geschilderten oder verwandter Formen finden, dafür werden ihm auf Schritt und Tritt seltsame, scheibenförmige, manchmal talergroße Versteinerungen begegnen, die, an der Oberfläche verschieden gestreift und punktiert, im Innern ein zierlich gewundenes Labyrinth zahlloser winziger Kammern enthüllen. (Abb. 9.) Der ungeübte Beobachter mag geneigt sein, die merkwürdigen Gebilde für Schalen von Weichtieren zu halten, aber in Wirklichkeit steckten in diesen verwickelten Gehäusen ganz niedrig stehende Organismen: einzellige Lebewesen von der Klasse der Wurzelfüßer (Rhizopoden). Deren Körper besteht, wie jedem Mikrologen bekannt ist, lediglich aus formlosem Protoplasma, das die Fähigkeit besitzt, feine, fingerartige Fortsätze (sogenannte Pseudopodien) auszusenden, die zum Fortbewegen und zum Ergreifen von Nahrung dienen und nach erfülltem Zweck wieder mit dem übrigen Körper

zusammenfließen. Viele Wurzelfüßer sind nackt, andere, z. B. die formschönen Radiolarien, besitzen prachtvolle Kieselskelette, noch andere, die Kammerlinge oder Foraminiferen, eine Schale, durch deren feine Poren sie die Pseudopodien austreten lassen. Zu den Kammerlingen nun gehören unsere merkwürdigen, fast wie Münzen aussehenden Scheiben. Was heute an verwandten Formen lebt, ist freilich weit kleiner, meist mikroskopisch klein, so die kugeligen Globigerinen, deren winzige Schälchen zu Billionen ungeheure Gebiete des heutigen Meeresbodens bedecken. Das Auftreten so gewaltig großer Foraminiferen ist ein besonderes Kennzeichen der Eozänzeit und um so bemerkenswerter, als deren Schalen am Grunde des alten Mittelmeeres, der Tethys, gerade so massenhaft angehäuft waren, wie die winzigen Globigerinenkugeln im Tiefseeschlamm der Jetztzeit. Man nennt diese eozänen Riesenkammerlinge Nummuliten, wegen ihrer münzenartigen Form und Größe (lat. nummus Münze).

Die ungeheure Verbreitung der Nummuliten ist eine der großartigsten Erscheinungen der Erdgeschichte. Soweit das eozäne Mittelmeer reichte, schwammen in seinen Fluten dichte Scharen dieser primitiven Lebewesen. Von Spanien und Marokko aus, in breitem Gürtel, zu beiden Seiten des Mittelländischen Meeres, durch Kleinasien, Persien und Ostindien bis nach China, den Sundainseln und Philippinen trifft man in mächtiger Entwicklung dichte, feste Kalksteine, die überall reichlich Nummuliten führen, ja stellenweise fast ausschließlich aus deren Schalen aufgebaut sind. Zu Millionen versanken die Gehäuse der abgestorbenen Tiere in den weichen Kalkschlamm der Tethys, versteinerten dort und blieben jahrhunderttausendelang begraben, bis endlich die Gebirgsbildung den Meeresboden aufwühlte und den uralten, längst zu festem Gestein erhärteten Schlamm hoch über die einstige Meeresfläche emporhob. So erklärt es sich, daß man in vielen Gebirgen die Nummulitenschichten in beträchtlichen Höhenlagen findet, z. B. in den Westalpen bis 3500, im Himalaja gar bis zu 5000 Meter über dem Meer. Es gibt kaum ein zweites Beispiel, das die gewaltigen Erdbewegungen der Tertiärzeit in so helles Licht setzt, wie die Auftürmung der Nummulitenschichten.

Den Nummuliten war nur eine kurze, freilich desto ergiebigere Blütezeit beschieden. In älteren Erdperioden kamen sie ganz vereinzelt vor, mit Beginn des Tertiärs setzte dann eine staunenswerte Vermehrung ein, aber schon um die Mitte dieses Zeitalters verschwanden sie fast ebenso plötzlich, wie sie gekommen waren. Nur eine einzige Gattung (Polystomella) hat sich in unsere Tage hinübergerettet. —

Während der oligozänen Zeit war in Mitteleuropa die Verteilung von Wasser und Land wesentlich anders als im Eozän. Um die Wende beider Zeiten versank die ganze Norddeutsche Tiefebene, die See reichte bis Frankfurt a. O., Leipzig, Kassel und Osnabrück und entsandte mehrere tiefe Buchten noch weiter nach Süden, so in die Gegend von Köln und Bonn, ins Herz von Thüringen und in die Oderniederung bei Breslau. Das warme Südmeer drang in die Oberrheinische Tiefebene ein, erfüllte sie von Basel bis Mainz und Frankfurt und dehnte sich immer weiter nördlich aus. Schließlich trafen sich beide Meere, und ein breiter Wasserarm verband das „Mainzer Becken" quer durch Oberhessen mit der „Nordsee", die er etwa bei Kassel erreichte.

Trocken blieben also fast ganz Süddeutschland und Teile von Mitteldeutschland. Als ansehnliche Insel ragte der Harz aus dem Wasser empor.

Dieses Bild gilt nur für Zeiten größter Meeresausbreitung. Schon oben wurde angedeutet, daß weite Gebiete während der Tertiärzeit strittiges Besitztum waren; bald behauptete das Land die Oberherrschaft, bald das Meer. Von dem beständigen Kampf zwischen dem festen und dem flüssigen Element gibt uns der häufige Wechsel der Ablagerungen deutliche Kunde. Sande und Tone, die im Meer abgesetzt wurden, wechseln mit Schichten, die auf festem Lande sich bildeten, z. B. Braunkohlenlager. Über diese Verhältnisse soll im zweiten Band ausführlicher berichtet werden.

Die Entstehung der Braunkohlen weist darauf hin, daß das Oligozän eine feuchtwarme Periode war, während man das Eozän als heißes, trockenes Zeitalter charakterisieren kann. Immerhin war das Klima selbst in Mitteldeutschland fast noch tropisch, etwa wie heutzutage in Florida und Louisiana. Der oligozäne Sandstein der Wetterau in Hessen führt massenhaft Hölzer und Blattreste von Palmen, Zypressen, Mammutskiefern; immergrüne Laubbäume, Fächer- und Kokospalmen bilden den Hauptbestandteil der damaligen deutschen Baumwelt.

In den größtenteils wohl sumpfigen Wäldern lebten Herden von Huftieren, die gegenüber ihren eozänen Vorfahren entschiedene

Fortschritte bekunden. Ungemein verbreitet in ganz Westeuropa waren die Paläotherien oder „Alttiere" (Abb. 10), deren verschiedene Arten zwischen Schaf- und Pferdegröße schwankten. Sie besaßen einen Tapirrüssel, an Vorder- wie Hinterfüßen je drei Zehen, die noch sämtlich den Boden berührten, und einen von ihren Vorläufern, den Hyrakotherien (Abb. 11), sehr verschiedenen Zahnbau. Die reinen Höckerzähne sind verschwunden; schräge Leisten verbinden die Höcker miteinander, und die Außenwand der Zähne zeigt eine W-förmige Figur (Abb. 12).

Im Palaeotherium haben wir somit einen gut charakterisierten Unpaarhufer vor uns, der eine weitere bedeutsame Station in der Entwicklungsgeschichte des Pferdes darstellt. Andererseits gab es im Oligozän auch schon echte Paarhufer, wie das Anthracotherium oder Kohlentier, dessen häufiges Vorkommen in Braunkohlenschichten auf seinen Aufenthalt in

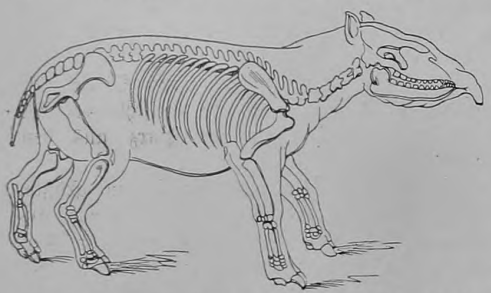


Abb. 10. Palaeotherium magnum, restauriert. (Nach Cuvier.)

Sümpfen deutet. Aus nahe verwandten Gattungen dürfte unser heutiges Schwein hervorgegangen sein. Wie bei diesem ist jeder Huf vierzehig, doch die seitlichen Zehen nur wenig kürzer als die mittleren. Die Backenzähne sind höckerig, die Eckzähne hauerartig nach außen gebogen. — Als Vorläufer der Wiederkäuer erscheint gleichzeitig das Anoplotherium, wahrscheinlich ebenfalls ein Sumpfbewohner, der zwischen den Zehen Schwimmhäute besaß und seinen auffallend langen, kräftigen Schwanz als Ruder benutzte. Es war ein kurzbeiniges, gedrungenes, hornloses Tier, etwa von der Größe und Gestalt eines Tapirs. —

Wahrscheinlich ist es schon während der älteren Tertiärzeit in den Alpen und anderen späteren Gebirgsgegenden Europas unruhig geworden. Aber die Auftürmung der mächtigen Hochgebirgsketten, die heute unseren Erdteil in seltsam gewundenen Schleifen durchziehen, geschah erst während der Miozänzeit und setzte sich mit abnehmender Lebhaftigkeit bis ins jüngste Tertiär fort. Beweis dafür ist, daß ältere tertiäre Schichten vielfach noch mitgefaltet wurden. Von der Aufrichtung der Nummulitenkalksteine war schon oben die Rede.

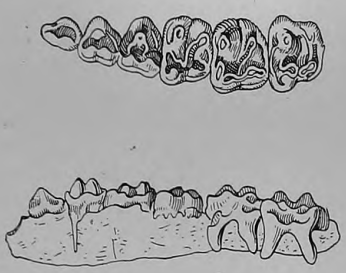


Abb. 11. Hyracotherium. Zahnreihe.

Aber auch die „Molasse" der Nordalpen, eine zumeist aus Sandstein und Nagelfluh bestehende, oligozäne bis miozäne Ablagerung, hat stellenweise, z. B. am Rigi, sehr kräftige Faltungen erlitten. Jener berühmte Aussichtsberg besteht fast in seiner ganzen Masse aus Nagelfluhbänken, die, steil aufgerichtet, bis zu 1800 Meter Meereshöhe emporragen. Ja, in Griechenland, im Norden des Peloponnes, finden wir Meeresbildungen der jüngsten Tertiärzeit, des Pliozäns, in ein gleich hohes Niveau hinaufgeschoben.

Damals muß in Südeuropa alles drunter und drüber gegangen sein, in des Wortes verwegenster Bedeutung. Ein erbitterter Kampf zwischen Land und Meer, in dem das Land vorläufig Sieger blieb! Das Ende des uralten, mittelländischen Weltmeeres nahte. Arabien und Oberägypten hoben sich aus dem Wasser und schnitten die Verbindung mit dem Indischen Ozean ab; erst der Kultur unserer Tage blieb es vorbehalten, das geschlossene Tor durch eine schmale, künstliche Wasserstraße von neuem

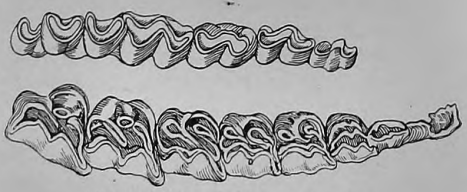


Abb. 12. Palaeotherium. Zahnreihe.

zu durchbrechen. Im Norden wuchsen die Inseln des Alpengebietes zu einem Festlandstreifen zusammen, der über die Balkanhalbinsel und das heutige Ägäische Meer nach Kleinasien hinunterreichte. Auch Teile von Italien und

Spanien wurden zweifellos schon im Miozän trockengelegt. Manche Beobachtungen sprechen dafür, daß um jene Zeit an Stelle des Tyrrhenischen Meeres ein breites, bis Afrika reichendes Festland existierte. Man hat auf einigen ganz kleinen Inseln jenes Meeres versteinerte Reste von Hirschen und anderen großen Wiederkäuern gefunden; ferner lebt auf Korsika und Sardinien eine Anzahl Säugetiere, die nicht in Italien, wohl aber in Algier vorkommen. Dies kann man kaum anders erklären als mit der Annahme, daß die genannten Inseln zur jüngeren Tertiärzeit sowohl unter sich wie mit Afrika verbunden waren, während das heutige Italien noch größtenteils unter Wasser lag. Später ist das tyrrhenische Festland wieder versunken, nur Korsika, Sardinien und einige kleine Inseln, z. B. Elba, blieben stehen. Aus dem geologischen Bau dieser Überreste kann man schließen, daß die alte „Tyrrhenis" ein gebirgiges Land war, dessen aus Urgestein aufgetürmte Ketten hinter unseren Zentralalpen an Höhe wenig zurückstanden. Das Entstehen und Wiederverschwinden eines so ansehnlichen Gebirgslandes während eines verhältnismäßig kurzen Zeitraumes ist so recht geeignet, uns von der Großartigkeit der jungtertiären Erdrevolutionen einen Begriff zu verschaffen.

Selbst heute sind jene Gebiete noch weit entfernt von einem Ruhezustande. Der südliche Teil des Tyrrhenischen Meeres, zwischen Kalabrien und dem nördlichen Sizilien, ist nach Sueß ein Senkungsfeld, dessen Bruchrand der auf dem beistehenden Kärtchen (Abb. 13) dargestellte schraffierte Kreisbogen bildet. Hier sind die Stätten jener furchtbaren Erdbebenkatastrophen, denen die letzten Tage des Jahres 1908 ein neues, erschütterndes Beispiel hinzugefügt haben. Das ganze Gebiet gleicht einer großen, sich mehr und mehr vertiefenden Schüssel, gegen deren Mitte, die Liparischen Inseln, radiale, infolge der Einbrüche entstandene Sprünge verlaufen. Sie bezeichnen ebenfalls Erdbebenlinien oder sind, in der Nähe der Liparen, mit Vulkanen besetzt. Jede Gleichgewichtsstörung der einbrechenden Schollen verursacht gesteigerte vulkanische Tätigkeit auf den Inseln und Erdbeben auf dem Festland oder Sizilien.

Dauert in diesen Gebieten, denen wir noch Griechenland und die europäische Türkei anreihen können, der Kampf zwischen Meer und Land noch fort, so hat er im Norden des alten Mittelmeeres mit einem vollständigen Siege des Landes geendigt. Von der Miozänzeit an blieb der bei weitem größte Teil Deutschlands trocken. Nur im äußersten Süden schlang sich ein Meeresgürtel um die emporstrebenden Alpen, vom Rhonegebiet durch die Nordschweiz, Oberschwaben und -bayern bis Wien. Die „Nordsee" war weit zurückgewichen und bedeckte nur noch Holland, Friesland und Schleswig-Holstein. Das „Mainzer Becken", ehedem ein Meerbusen der Tethys, blieb als süßes Binnengewässer noch eine Zeitlang erhalten.

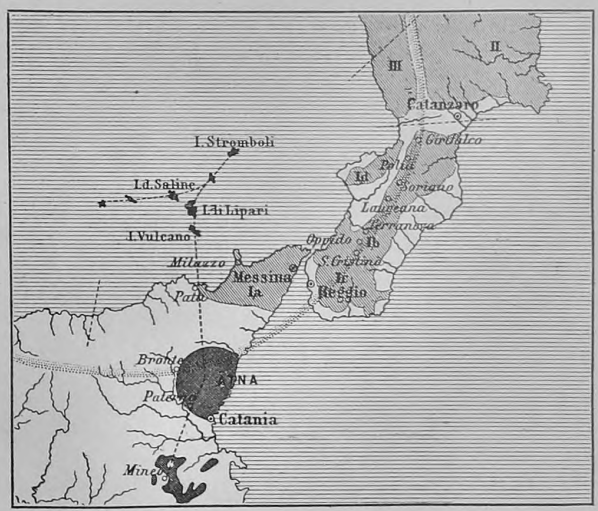


Abb. 13. Das süditalienische Erdbebengebiet.
Das vulkanische Gebirge ist durch dunkle, das Granit- und Schiefergebirge durch lichte Schraffierung bezeichnet. (Nach Sueß.)

Erdbeben sind heute in Deutschland, mit Ausnahme des sächsischen Vogtlandes, seltene Erscheinungen, im Miozän aber war nach allem, was wir vermuten dürfen, das Gegenteil der Fall. Es ist klar, daß so gewaltige Erdbewegungen, wie die Auftürmung der Alpen, weit in die Nachbargebiete hinein ihren Einfluß fühlbar machen mußten. In der Tat beweisen die zahlreichen, aus tertiärer Zeit stammenden Verwerfungen und Brüche der Schichten, daß die Zuckungen der Erdrinde sich bis ins nördliche Deutschland fortgepflanzt haben. Viele dieser Brüche lassen auf Erderschütterungen von heutzutage ganz unerhörter Gewalt schließen, Erschütterungen, denen gegenüber selbst die jüngste sizilianische Katastrophe nur als unbedeutende Bodenschwankung erscheint.

Das Bersten der Erdrinde an zahlreichen Stellen hatte weiterhin massenhafte Vulkanausbrüche zur Folge. So faßt wenigstens die herrschende Lehrmeinung den Vorgang auf, es fehlt aber keineswegs an Stimmen, die in der Vulkanbildung die Ursache und in den Brüchen und Spalten die Wirkung sehen. Nach ihnen haben die Lavamassen sich selbsttätig ihre Wege gebahnt, d. h. die vulkanische Kraft hat die Erdrinde gesprengt. Auf diese bislang noch unentschiedene Streitfrage komme ich im zweiten Abschnitt zurück.

Im Miozän Deutschlands spielen wieder Braunkohlenlager eine bedeutende Rolle. Weite Gebiete des Flachlands waren damals von Sümpfen und Mooren bedeckt, mit denen kleine Seen abwechselten. Eine üppige Pflanzenwelt wucherte in den feuchten Niederungen und lieferte mit ihren abgestorbenen, meterhoch

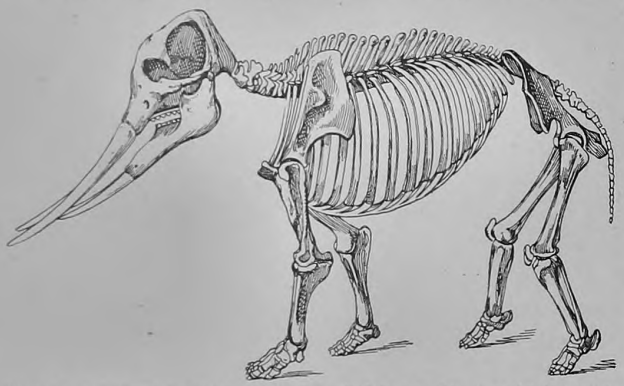


Abb. 14. Mastodon angustidens aus dem Miozän von Simorre (Südfrankreich).

sich anhäufenden Resten das Material der Braunkohlenlager. Fragen wir nach dem Charakter dieser Pflanzenwelt, so ist im Anfang kein wesentlicher Unterschied gegenüber der oligozänen Zeit bemerkbar. Neben manchen Bäumen unserer heutigen Wälder gab es noch zahlreiche mit immergrünem Laub, Palmen, Kampfer- und Zimtbäume, Magnolien, Myrten und andere. Allmählich aber scheint das Klima kühler geworden zu sein, ohne dabei an Feuchtigkeit einzubüßen. Die Braunkohlenlager der Mark Brandenburg liefern ein gutes Bild der spätmiozänen Waldvegetation. An Stelle der heutigen Sanddünen mit ihren Kiefernbeständen bedeckten ausgedehnte Zypressensümpfe das Land, wie sie heutzutage im Landschaftsbild Mexikos und Virginiens einen so bezeichnenden Zug bilden. Daneben gab es Platanen, Ahorne, Pappeln, Birken, Buchen und andere Waldbäume der Gegenwart, aber es fehlen mit ganz spärlichen Ausnahmen die immergrünen Gewächse. In Mitteldeutschland muß das Klima noch etwas wärmer gewesen sein; in Hessen gediehen noch am Ende der Miozänzeit Magnolien und Weinreben, doch waren die Palmen damals schon endgültig aus Mitteldeutschland verschwunden. Die Winter brachten zweifellos schon Schnee und Eis, und auch im Frühling scheint es gelegentlich gefroren zu haben, wenn anders die Beobachtung richtig ist, daß miozäne Buchenblätter aus der Mark deutliche Spuren erlittenen Frostes zeigen.

Dem üppigen Pflanzenleben in den Braunkohlensümpfen wurde mancherorts ein jähes Ende durch vulkanische Ausbrüche bereitet. Mächtige Lavaströme ergossen sich vernichtend über die stolzen Urwälder und bedeckten den Boden jahrtausendelangen üppigen Pflanzenwuchses mit glutflüssigen Massen, die allmählich zu festem Basalt erstarrten. Trat dann eine längere Ruhepause ein, so konnte auf dem fruchtbaren vulkanischen Boden eine neue Waldvegetation aufschießen, die aber oftmals, wenn sie recht in Blüte stand, den neu erwachenden vulkanischen Kräften ebenso zum Opfer fiel wie ihre Vorgängerin. Dergleichen Verhältnisse beobachten wir in Hessen und im Westerwald, wo lange Ruhezeiten abgewechselt haben mit verheerenden Ausbrüchen. Im Habichtswald bei Kassel liegt über älteren Braunkohlenschichten eine Basaltdecke; darüber folgen jüngere Braunkohlenlagen, die ihrerseits von einer zweiten Basaltschicht bedeckt sind.

Von der Tierwelt der Miozänzeit werden wir später noch mancherlei hören. An dieser Stelle sei nur auf die fortschreitende Mannigfaltigkeit des Säugetierstammes aufmerksam gemacht. Im Miozän erscheinen zuerst in Europa gewaltige Rüsseltiere: das Dinotherium, mit dem heutigen Elefanten, den es an Größe übertraf, nur entfernt verwandt, da seine beiden Stoßzähne vom Unterkiefer ausgehen und nach abwärtsgekrümmt sind, und das Mastodon, elefantenähnlicher, aber (wenigstens die miozänen Arten) noch mit vier Stoßzähnen versehen (je zwei im Oberkiefer und Unterkiefer) (Abb. 14).

Ungefähr zur selben Zeit tritt das Nashorn auf und bleibt bis zum Schluß der Eiszeit in

Europa weit verbreitet. Auch die ersten horn- oder geweihtragenden Wiederkäuer bevölkern jetzt Wälder und Steppen. Interessant sind namentlich die miozänen Hirsche mit ihrem langen Rosenstock, auf dem sich ein kurzes, zweispitziges Geweih erhob (Dicroceras, Abb. 15).

Abb. 15. Geweih eines miozänen Muntjakhirsches (Dicroceras elegans). 1/3 nat. Größe.

Eine reiche Entwicklung zeigen ferner die Raubtiere. Zwar gab es im Miozän Europas noch keine typischen Bären, Hunde und Wölfe, das war alles noch vereinigt in einer Sammelform, die man Amphicyon genannt hat. Wohl aber begegnen uns schon echte Katzen, jene vollendetste Form der Raubtiere, deren Körperbau zierlichste Form mit der größten Stärke vereinigt. Das Gebiß der Katzen ist durch Umbildung der Reißzähne zu großen, scharfen Klingen und durch fast gänzlichen Schwund der Höckerzähne aufs trefflichste zum Packen, Zerreißen und Zerschneiden von Fleischnahrung eingerichtet. Das furchtbarste katzenartige Raubtier, das je gelebt hat, war der Säbeltiger (Machaerodus, Abb. 16), ein hochbeiniges Ungeheuer mit riesigen, abwärts gekrümmten Fangzähnen, deren Schneiden nach Art feiner Sägen gekerbt waren. Vermutlich ist dieses Untier, das in den wärmeren Gegenden Europas noch während der Eiszeit lebte, einer der gefürchtetsten Feinde des Urmenschen gewesen. —

In die Miozänzeit führt uns auch die diesem Kapitel beigegebene farbige Landschaft zurück. Wir blicken in eine wald- und wasserreiche Gegend mit einer Kette vulkanischer Berge im Hintergrund. Links tritt zwischen den Bäumen ein ungeheures Mastodon hervor, eine jener älteren Formen mit im ganzen vier Stoßzähnen, während sich rechts im Vordergrunde ein kleiner Trupp der zebraähnlichen Anchitherien (d. h. Zwischentiere) aufhält. Es waren dies Vorläufer des Pferdes, viel zierlicher als das ältere, uns schon bekannte Palaeotherium, das, obwohl eigentlich der Oligozänzeit angehörend, auf der linken Seite des Bildes zum Vergleich dargestellt ist. In der Mitte erblicken wir ein Rudel tertiärer Wildschweine (Listriodonten), die erheblich größer waren als die jetzigen, und weiter zurück eine Schar der zierlichen Muntjakhirsche mit zweispitzigem Geweih. Am Ufer des Flusses wandelt schwerfällig ein gewaltiges Nashorn, jene ältere, hornlose Varietät (Aceratherium), die im Lauf der Miozänzeit vom typischen, gehörnten Rhinozeros verdrängt wurde.

Im jüngsten Abschnitt der Tertiärzeit, im Pliozän, wird die Säugetierwelt immer mehr der heutigen ähnlich. Zahlreiche Hirsche, Antilopen, Tapire, Gazellen, Schweine, Nashörner und Flußpferde, Hyänen, Hunde, Bären, Löwen, Affen bevölkern das südliche und mittlere Europa. Die riesigen Rüsseltiere, Dinotherium und Mastodon, leben zunächst noch fort; doch um die Mitte der Pliozänzeit stirbt das Dinotherium aus, und wie um den leer gewordenen Platz zu füllen, erscheint bald darauf der Elefant auf europäischem Gebiet. Es ist Elephas meridionalis, eine dem heutigen afrikanischen Elefanten sehr naheverwandte Art, mit seinen vier Metern Höhe das größte aller bekannten Landsäugetiere. Die Urheimat dieser Tiere ist Indien, wo sie aus gewissen Mastodonten hervorgingen. An Übergangsformen hat man beobachtet, wie die niedrigen Höckerzähne des Mastodons sich allmählich in die hohen, aus zahlreichen Schmelzplatten gebildeten Backenzähne des Elefanten verwandeln, ein Vorgang, der sich ganz ähnlich in der Stammesgeschichte des Pferdes wiederholt. Zu dieser wollen wir jetzt übergehen.

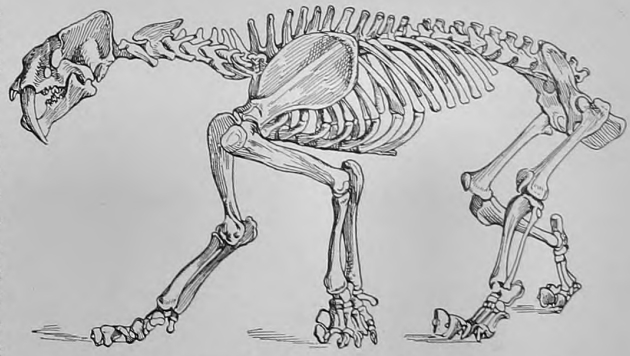


Abb. 16. Der südamerikanische Säbeltiger (Machaerodus neogaeus), gefunden im argentinischen Pampaslehm.

Die Entwicklung des Pferdestammes gelangt in der Pliozänzeit zum vorläufigen Abschluß.

Aus dem mitteltertiären Palaeotherium, das noch mit drei Zehen auftrat, geht zunächst das miozäne „Zwischentier" (siehe oben), dann das

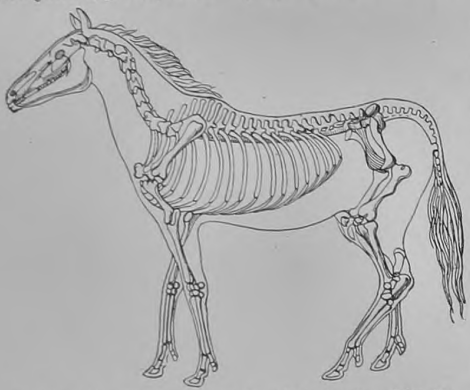


Abb. 17. Hipparion gracile, restauriert, aus dem Pliozän von Pikermi bei Athen.

Hipparion hervor, ein zierliches, zebraähnliches Geschöpf (Abb. 17), immer noch mit dreizehigem Huf, dessen Seitenzehen jedoch den Boden nicht mehr berühren (vgl. Abb. 20 E.). Gleichzeitig wachsen die bis dahin stets kurzen Backenzähne erheblich in die Länge und tun dies noch viel mehr beim späteren Pferde, wie Abb. 18 zeigt. Die Schmelzfalten der Zähne, beim Anchitherium noch ziemlich einfach, werden im Lauf der Entwicklung immer krauser (Abb. 19), so daß beim Hipparion und Pferd die wunderlichsten Zickzacklinien auf den Kauflächen erscheinen.

Das Hipparion war während der älteren Pliozänzeit in Europa ungemein verbreitet, wie seine massenhaft gefundenen Überreste beweisen. Wahrscheinlich lebte es in großen Rudeln, gleich dem späteren Wildpferd. Dieses erscheint in unseren Gegenden etwa zur selben Zeit wie der Elefant und ist wohl mit diesem aus Indien eingewandert. Das Ziel der Entwicklung: die Umbildung des in Urzeiten fünfzehigen Fußes zum einzehigen Huf, einem Lauforgan allerersten Ranges, ist im Pferd vollendet. Durch zahlreiche Zwischenformen wird die Abstammung des Pferdes von Formen, wie Phenacodus, vollauf gesichert und liefert einen der schönsten Beweise für die Richtigkeit der Entwicklungslehre. Beiläufig sei bemerkt, daß die Geschichte des Pferdestammes in Amerika noch vollständiger zu verfolgen ist als in Europa. Dort finden sich vermittelnde Übergänge zwischen Hipparion und Pferd. Das eingeborene, amerikanische Pferd war jedoch zur Zeit der Einwanderung der Europäer längst ausgestorben; vermutlich hat die Jagdlust der Eingeborenen seinen Untergang herbeigeführt. Dem gleichen Schicksal wäre wohl auch unser europäisches Wildpferd verfallen, wenn nicht schon der Mensch der jüngeren Steinzeit den Nutzen dieses Tieres erkannt und es zu seinen Diensten gezähmt hätte.

Wie in der Entwicklung der Tierwelt, beharrt auch sonst die Erdgeschichte auf den im Miozän eingeschlagenen Bahnen. Der Rückzug des Meeres in Europa, die Gebirgsbil-

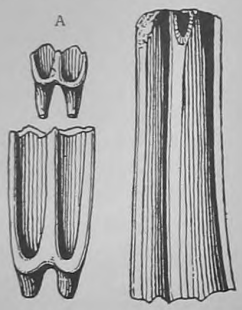


Abb. 18. Entwicklung des Pferdezahns.
A Zahn vom Anchitherium,
B vom Hipparion,
C vom Pferde.

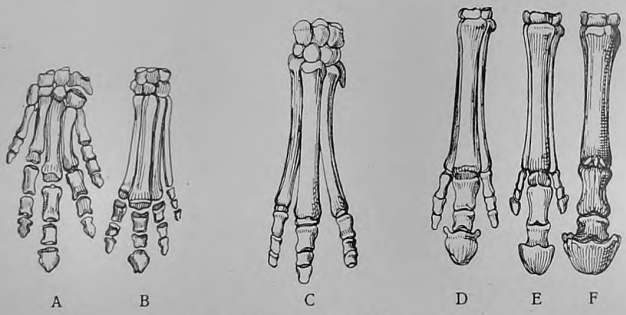


Abb. 20. Entwicklung des Pferdefußes.
A Phenacodus, Eozän. B Hyracotherium, Eozän. C Palaeotherium, Oligozän.
D Anchitherium, Miozän. E Hipparion, Pliozän. F Pferd, Gegenwart.

Abb. 19. Obere Backenzähne von: A B Anchitherium, C Merychippus (einer Zwischenform), D Hipparion, E Pferd.

dung, die Abkühlung des Klimas schreiten fort. Deutschland lag vollkommen trocken da, auch größere Binnenseen fehlten durchaus. Das Meer zwischen Nordalpen und Jura war verschwunden, die deutsche Nordseeküste vielleicht weiter hinausgerückt als heutzutage, nur Teile der Niederlande noch von der See bedeckt. Bestimmt wissen wir, daß der Ärmelkanal noch nicht existierte, sondern England mit Frankreich durch eine Landbrücke verbunden war. Auch in Südosteuropa sah es ganz anders aus als heutzutage. Eine breite Landmasse verband Griechenland mit Kleinasien und schied das Mittelmeer von einem ausgedehnten nördlichen Binnensee, der nur zum Teil mit dem heutigen Schwarzen Meer zusammenfiel.

Der Ärmelkanal soll erst gegen Ende der Eiszeit entstanden sein. Dagegen erfolgten in Südeuropa noch während der Pliozänzeit gewaltige Einbrüche vordem gehobenen Landes. Die „Tyrrhenis" verschwand bis auf ein paar Inseln, und dem „ägäischen Festlande" erging es nicht besser, nur seine höchsten Berge ragen noch jetzt als das Inselgewirr des griechisch-türkischen Archipels aus dem Meere hervor. Auch die Meerenge von Gibraltar ist angeblich eine Schöpfung der jüngsten Tertiärzeit.

Das pliozäne Klima der Mittelmeerländer war von dem heutigen wenig verschieden, zum Schluß offenbar sogar kälter als in der Jetztzeit. Dasselbe kann man von Mittel- und Westeuropa sagen. Über die pliozäne Klimaverschlechterung sind wir ziemlich gut unterrichtet. Zwar gab es damals noch keine selbstregistrierenden Thermometer, aber ein Lebewesen ist auch eine Art Wärmemesser; wird ihm eine Gegend zu kalt, so wandert es aus und überläßt seinen Platz anderen Tierformen, die aus noch kälteren Ländern oder Meeren kommen. Deutliche Zeichen einer allgemeinen Südflucht lassen sich im englischen „Crag" beobachten. Man faßt unter diesem Namen Schichten aus verschiedenen Abschnitten der Pliozänzeit zusammen, lauter Ablagerungen, die im Meer oder an Flußmündungen entstanden, daher die Reste zahlreicher Muscheln und anderer Weichtiere enthalten. Im ältesten (weißen) Crag herrschen noch Terebrateln, Moskorallen und Muscheln, den heute im Mittelmeer lebenden Formen verwandt. Zur Zeit des mittleren oder roten Crag scheint das Klima etwa dem heutigen entsprochen zu haben; die Muscheln tragen Nordsee-Charakter, aber auch einige grönländische Arten kommen vor. Im nächstjüngeren „Norwich Crag" nimmt die Zahl der nordischen Weichtiere erheblich zu, bis sie in den obersten Lagen, dem „Weybourn Crag", das Übergewicht über die Nordseemollusken erlangen. Wir stehen an der Schwelle der Eiszeit. Zur Zeit der Ablagerung des „Weybourn Crag" gab es zweifellos schon Gletscher in den schottischen Hochlanden. Bald würden sie sich ausdehnen, zum Inlandeis zusammenfließen und die ganze britannische Halbinsel (vgl. oben) unter ihrer Eislast begraben.

Der Ausgang der Tertiärzeit hat etwas ungemein Trauriges. Weite Gebiete Europas, in denen vormals unter dem Schutz eines herrlich warmen Klimas eine reiche, südliche Lebewelt blühte, verfielen vollkommener Verödung. Rettungslos preisgegeben der Vernichtung war die Pflanzenwelt; festgewurzelt im Boden, der sie jahrtausendelang genährt, starb sie den Kältetod. Auch unter der Tierwelt wird der Tod reichliche Ernte gehalten haben. Nur den mit besonderer Beweglichkeit ausgestatteten Geschöpfen gelang es, sich fast unvermindert in warme, südliche Länder hinüberzuretten; aber dort mußte zwischen den Flüchtlingen und den alteingesessenen Geschlechtern ein heftiger Kampf ums Dasein entbrennen, der im warmen Süden mit den schwächeren Formen ebenso gründlich aufräumte wie im Norden Kälte und Nahrungsmangel mit den Zurückgebliebenen. Von zahlreichen Arten muß damals, auf die eine oder andere Weise, die Hauptmasse zugrunde gegangen sein. Zwar hat die Schöpfungskraft der Natur später viel ersetzt, aber zur blühenden Mannigfaltigkeit der tertiären Tier- und Pflanzenwelt sich doch nicht wieder aufschwingen können.

Lang ist die Liste der seit dem Pliozän aus Europa verschwundenen Tiere, selbst dann noch lang, wenn man nur die Säuger berücksichtigt. Ausgestorben auf der ganzen Erde sind jene gewaltigen Rüsseltiere, Dinotherium und Mastodon, ausgestorben auch der furchtbare Säbeltiger und die vormals im mittleren und südlichen Europa weitverbreiteten Affen, zu denen auch einige dem heutigen Gibbon und Orang-Utan nahe verwandte Menschenaffen gehörten. Viele andere Säugetiere haben sich aus unseren Gegenden in die Tropen zurückgezogen: Elefanten, Nashörner, Flußpferde (im Tertiär bis nach England hinaufreichend), Löwen und Hyänen, Antilopen, Gazellen, Kamele und Giraffen, unter diesen auch das unlängst im Kongostaat entdeckte Okapi, dessen Reste man in pliozänen Schichten der Insel Samos gefunden

hat. Ebendort lebte auch ein Schuppentier, eine Art des äthiopischen „Erdferkels" (Orycteropus), wohl das fremdartigste Geschöpf der pliozänen Säugetiergesellschaft Europas. Eins ist jedoch zu bedenken: die auffällige Verarmung unserer Tierwelt darf man nicht allein der Klimaverschlechterung aufs Konto schreiben. Nach Ablauf der Tertiärzeit erscheint der Mensch in Europa. Auf ganz niedriger Kulturstufe stehend, besaß er als Kampfmittel gegen die ihm an Kraft weit überlegenen Säugetiere nichts als ungemein primitive Steinwaffen ..... und seine List. Er hat die Riesen der Urwelt in Fallen gelockt und sie erschlagen. Die etwas kleineren Jagdtiere, Pferd, Renntier, Hirsch, hat er in ungeheuren Mengen getötet. Naturvölker pflegen sich keine Sorgen um die Zukunft zu machen. Bietet sich die Gelegenheit einer reichen Jagdbeute, so töten sie alles Erreichbare, weit über ihren augenblicklichen Bedarf hinaus, — was nicht verzehrt wird, bleibt liegen und verwest. In dieser unsinnigen Mordlust haben noch im Lauf der letzten Jahrhunderte die nordamerikanischen Indianer den Büffel fast ausgerottet. Beim Urmenschen dürfen wir ähnliche Triebe voraussetzen. Ihm gebührt ein gut Teil Schuld an dem raschen Aussterben mancher Tiergeschlechter, die noch während der älteren Eiszeit massenhaft in Europa lebten.

Kreide.

Die dem Tertiär vorhergehende Periode der Erdgeschichte bezeichnet man als „Kreidezeit" oder kurzweg „Kreide". Gemeint war damit ursprünglich nur die weiße Schreibkreide, deren steil abfallende Klippen die Küsten des Ärmelmeeres schmücken und auch an den Ufern der Ostsee, besonders schön auf der Insel Rügen, zu sehen sind. Später hat man erkannt, daß auch viele nicht aus Schreibkreide bestehenden Schichten der „Kreidezeit" angehören, so der Wälderton des nordwestlichen Deutschland, der Quadersandstein der sächsischen Schweiz, die sogenannten Grünsande, der Plänerkalk usw. Die verschiedenen Ablagerungen entstammen größtenteils auch sehr verschiedenen Zeiten, und man hat demgemäß die Kreide in mehrere (5 bis 7) Unterabteilungen zerlegt. Näheres über die einzelnen Stufen, soweit sie für Deutschland von Wichtigkeit sind, wird der zweite Band bringen.

Das Ende der Kreidezeit mag zwei bis drei Millionen Jahre zurückliegen. Das ist nur ein kleiner Bruchteil der Erdgeschichte, und doch welch umfassende Veränderungen im Antlitz der Erde wie in der Entwicklung des Tier- und Pflanzenreichs haben sich seitdem vollzogen! Alles, was das tertiäre Weltalter geschaffen, lag noch begraben im Zeitenschoße. Die Welt war zur Kreidezeit eine andere, fremdartig in ihrem Aufbau, die flachen Kontinente beherrscht von unheimlichen Riesengestalten des Echsenstammes, die weit ausgebreiteten Meere belebt von Schaltieren, die an Größe und abenteuerlicher Form einzig dastehen in der Geschichte der organischen Welt.

Die Grenze zwischen Kreide und Tertiär ist gekennzeichnet durch das Aussterben der großen Saurier und die plötzlich mit reißender Geschwindigkeit einsetzende Entwicklung der höheren (mit Plazenta versehenen) Säugetiere. Man liest öfters in geologischen Werken, daß die fortschreitende Wärmeabnahme der Erde beide Vorgänge verursacht oder wenigstens begünstigt habe; die Riesenechsen seien in dem kühleren Klima zugrunde gegangen, während umgekehrt die Säuger darin ein vortreffliches Gedeihen fanden. Wir wissen, daß Europa im älteren Tertiär ein heißes Klima besaß (Beweis: die tropische Pflanzenwelt), und daß Laubwälder, wie die heutigen, nur unter dem Polarkreise fortkamen, also Verhältnisse, die für ein Fortleben des Saurierstammes im ganzen recht günstig gewesen wären. Was wissen wir denn nun vom Klima der Kreidezeit?

Auf keinen Fall war es wärmer als im älteren Tertiär; das beweisen die damaligen Laubpflanzen, die mit unseren Weiden, Pappeln, Ahornen, Lorbeerbäumen aufs nächste verwandt waren. Die Kreide ist das Zeitalter einer großen Revolution in der Pflanzenwelt. Wie im Frühtertiär die Säuger sich der Herrschaft im Tierreich bemächtigen, so erscheinen seit der mittleren Kreide in der ganzen Welt massenhaft bedecktsamige Blütenpflanzen (Angiospermen) und verdrängen die bis dahin herrschenden nacktsamigen Gewächse (Gymnospermen, vor allem Sagobäume und Koniferen). Die Urheimat der Angiospermen scheint Nordamerika zu sein, wo sie schon zu Beginn der Kreideperiode weite Verbreitung besaßen. Eigentümlicherweise entwickeln sich zunächst die höherstehenden, mit

zwei Keimblättern ausgerüsteten „Dikotylen", während Palmen und andere Einblattkeimer (Monokotylen) erst im Tertiär häufiger werden.

Um einen gebräuchlichen Vergleich anzuwenden: die Erde hat im Lauf der Kreidezeit ein neues Kleid angelegt, ein viel schöneres, farbenprächtigeres Kleid, als sie vordem trug. Jene Fülle der Wohlgerüche, jener reiche Prunk der Blüten, die uns in jedem wiederkehrenden Frühling aufs neue entzücken, erfüllten in jenem Zeitalter die Welt zum erstenmal. Freilich gab es noch keine Wesen, die sich daran hätten freuen können, wir müßten denn den Schmetterlingen, Bienen und Käfern, die zweifellos schon damals von Blüte zu Blüte flogen, solche Empfindungen zutrauen. Übrigens sind in Kreideschichten auffallend wenig Versteinerungen dieser Tiere gefunden worden; erst im Tertiär erlangen sie ihre Hauptentwicklung, woraus zu schließen ist, daß auch die Blumen, deren Fortpflanzung durch Insekten vermittelt wird, zur Kreidezeit noch verhältnismäßig selten waren.

Die Ursachen des überraschenden Siegeslaufs der angiospermen Blütenpflanzen sind für uns ebenso in Dunkelheit gehüllt wie das Aussterben der Riesenechsen. Möglicherweise stehen beide Vorgänge in Zusammenhang mit der schärferen Ausbildung der Klimazonen, die sich in der Kreidezeit sehr lebhaft geltend macht. Dieser Gegensatz bestand keineswegs von jeher (von älteren Perioden der Erdgeschichte wissen wir, daß eine feuchte, gleichmäßige Wärme fast über die ganze Erde verbreitet war) und scheint in der älteren Tertiärzeit vorübergehend wieder an Schärfe verloren zu haben. In der Kreide zeigen sich aber zwischen südlicher und nördlicher Entwicklung der Tierwelt beträchtliche Unterschiede, die zweifellos auf den Gegensatz einer heißen und gemäßigten Zone zurückgehen. Im Norden muß der Wechsel der Jahreszeiten bereits recht fühlbar gewesen sein, wenn auch die „winterliche" Kälte bei weitem nicht den Grad der heutigen erreichte.

Nun sind die dikotylen Blütenpflanzen eine Schöpfung der gemäßigten Kreidezone Amerikas, die sich etwa vom 35. Breitengrade an nordwärts erstreckte (in Europa lag die Grenze erst am 48. Breitengrade). Von dort breiteten sie sich über den jetzt versunkenen, nordischen Kontinent nach der Alten Welt aus und scheinen erst später in tropische Gegenden eingewandert zu sein. Unter den ältesten dikotylen Pflanzen finden sich schon Sträucher und Bäume mit fallendem Laub (Weiden, Pappeln, Ulmen, Eichen, Platanen), deren Organisation offenbar auf den Wechsel warmer und kalter Jahreszeiten eingerichtet ist. Was der Ausbreitung dieser Pflanzen förderlich war, mochte vielen Sauriern, deren Natur ein gleichmäßig warmes Klima verlangte, verhängnisvoll werden. Sie gingen in der gemäßigten Zone zugrunde, vielleicht weil sie im „Winter" nicht genügende Nahrung fanden. In den wärmeren Gegenden haben sich ja Riesenechsen bis auf den heutigen Tag erhalten.

Wahrscheinlich hat eine Umwälzung anderer Art das Aussterben der großen Landechsen noch befördert.

Im Beginn der Kreideperiode dehnten sich nördlich wie südlich von dem großen Mittelmeer, der Tethys, zusammenhängende Festlandmassen aus. So waren Nordamerika, West- und Mitteleuropa miteinander verbunden; ein anderer großer Kontinent lag im östlichen Asien, auch bedeutende Teile Südamerikas und Südafrikas waren über das Meer gehoben. Im weiteren Verlauf der Kreidezeit aber schwanden diese Landmassen immer mehr zusammen. Das Meer feierte Triumphe. Nicht nur flache Niederungen, die seit undenklichen Zeiten zum strittigen Grenzgebiet zwischen Land und See gehörten, auch uralte, vor Jahrmillionen fest gegründete Gebirgsländer sanken unter das Meer. Die aus Urgestein aufgebauten Gebiete Sachsens und Böhmens traf das gleiche Schicksal wie die seit der Steinkohlenzeit trocken gelegenen Teile Westfalens und Belgiens. Wahrhaftes Staunen erregt die weltweite Verbreitung der Überflutungen. Im äußersten Westen wie im fernsten Osten der Alten Welt, in England und auf Sachalin, in Nord- wie in Südamerika, auf Disko bei Grönland und im entlegenen Natal traten sie ungefähr zu gleicher Zeit ein. Die Sintflut, von der die Sagen fast aller Völker uns berichten, zur Kreidezeit ist sie Wirklichkeit geworden.

Man hat darüber gestritten, ob hier tatsächlich eine allgemeine Senkung, fast könnte man sagen, ein Zusammenbruch der Festländer stattgefunden hat, oder ob nicht vielmehr eine Hebung des Meeresspiegels auf der ganzen Erdkugel Ursache der gewaltigen Überflutungen gewesen ist. Von vornherein wird man zugeben, daß ein gleichzeitiges Sinken so ungeheuer weiter Landgebiete außerordentlich unwahrscheinlich ist. Andererseits hält es schwer, für das Steigen des Meeres eine annehmbare Erklärung zu finden. Denn wir wissen nichts davon, daß etwa damals zum Ausgleich alte Ozeane trockenes

Land geworden wären, daß es sich also nur um eine Verschiebung der Meere gehandelt hätte. Es bliebe nur die ziemlich phantastische Annahme, die ganze Masse des Meeres sei gewachsen, es habe also zeitweilig einen bedeutenden Überschuß an Wasser auf unserem Planeten gegeben. Da die ganze Frage aufs engste

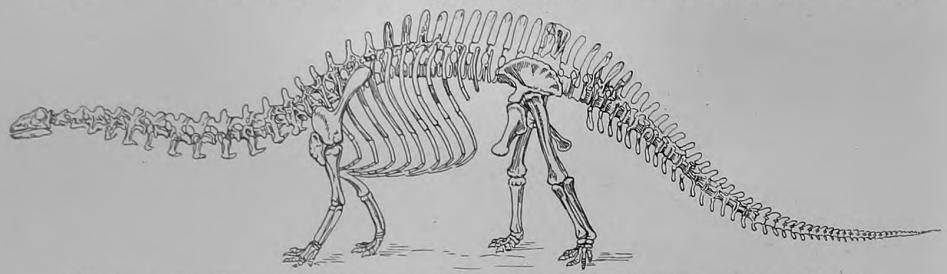


Abb. 21. Atlantosaurus, jugendliches Exemplar (sog. Brontosaurus), etwa 18 m lang. Aus dem Jura des amerikanischen Felsengebirges.

mit der Gebirgsbildung zusammenhängt, komme ich in einem späteren Kapitel nochmals darauf zurück.

Was nun die Saurier damit zu tun haben? Nun, auf den stark eingeengten Festländern waren die Existenzbedingungen für diese Riesen der Vorwelt offenbar höchst ungünstig. Wir können uns vorstellen, wie das steigende Meer zunächst zahlreiche kleine Gebiete vom Fest-

Abb. 22. Iguanodon Bernissartensis, gefunden im Wälderton von Bernissart in Belgien.

land abschnitt und das ehemalige Küstenland in eine Reihe von Inseln verwandelte. Alles, was an Landtieren auf solchen Inseln zurückblieb, ging zugrunde, entweder durch Nahrungsmangel oder durch Ertrinken, wenn das Wasser schließlich die Inseln ganz überflutete. Und immer erweiterte das Meer seine Herrschaft, fraß sich in die Kontinente ein, erfüllte die Täler und Niederungen, nagte an den felsigen Küsten der Gebirge. Unter den auf immer kleinerem Raume zusammengedrängten Tieren entbrannte der Kampf ums Dasein mit besonderer Heftigkeit. Die riesigsten Landechsen jener Zeit waren Pflanzenfresser, sie nährten sich wohl hauptsächlich von Farnkräutern, die in zahllosen, oft baumartigen Formen die ausgedehnten, sumpfigen Niederungen überwucherten. Gewaltige Gesellen waren unter ihnen, viele die stattliche Körperlänge von zehn bis fünfzehn Metern erreichend, alle aber übertroffen von dem kolossalen Atlantosaurus (Abb. 21), der in ausgewachsenem Zustand fünfunddreißig Meter maß, und dessen Körpergewicht auf rund 600 Zentner geschätzt wird! Diese hauptsächlich aus Amerika bekannten, in Europa anscheinend seltenen Riesendrachen gingen auf allen vieren, im Gegensatz zum aufrecht daherschreitenden Iguanodon (Abb. 22), der in der älteren Kreidezeit bei uns geradezu in Massen gelebt haben muß. An Größe blieb er hinter den amerikanischen Kolossen zurück (das längste gefundene Exemplar mißt zehn Meter), zeichnete sich aber durch einen verhältnismäßig größeren Kopf vor ihnen aus. Obschon ein Pflanzenfresser, war das Tier nicht völlig wehrlos; der Daumen der Vorderfüße hatte sich bei ihm zu einem dolchartigen Sporn entwickelt, eine Waffe, die im Kampf mit den fleischfressenden Raubechsen gute Dienste getan haben muß.

Neben diesen Riesenbewohnern der Kreidesümpfe gab es noch zahlreiche kleinere Drachen. Ihnen allen wurde durch das Vordringen des Meeres gleichsam der Nährboden entzogen. Die Zykadeen- und Farnsümpfe verschwanden in den Fluten; zurückgedrängt in die trockenen Hochländer, fanden die Pflanzenfresser dort weder genügende Nahrung noch sicheres Versteck vor ihren furchtbaren Feinden, den Raub-

echsen. In diesen Verhältnissen mag ein weiterer Grund für das rasche Aussterben der großen Landsaurier liegen, das namentlich gegen Ende der Kreideperiode sich so auffällig geltend macht.

Der Kreidezeit gehören auch die sonderbaren Zeratopsiden an, vielleicht die abenteuerlichsten Saurier, die es je gegeben hat. Man kann sie die Büffel unter den Echsen nennen, wegen der langen, nach vorn gerichteten Hörner, die sie auf dem Stirnbein trugen. Im übrigen waren ihre Schädel sehr merkwürdig gebaut, vorn spitz zulaufend zu einem scharfen Schnabel, hinten zu einem breiten Knochenkragen erweitert, der den Hals schützend bedeckte. Eine Gattung trug auf der Nase noch ein drittes, kürzeres Horn (Abb. 23). Im Gegensatz zu Iguanodon, Atlantosaurus usw. waren Vorder- und Hinterbeine der Zeratopsiden fast gleich lang, die Zehen unten hufartig verdickt, der Schwanz für Echsen auffallend kurz. Dies alles muß den Tieren im Leben ein an große, plumpe Säugetiere erinnerndes Aussehen gegeben haben,

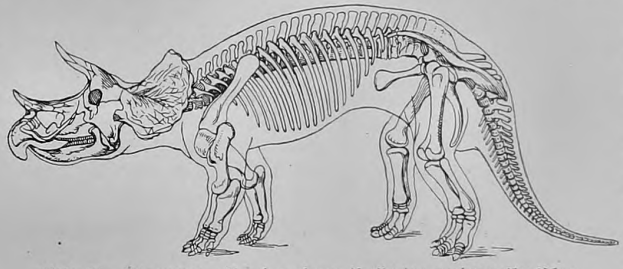


Abb. 23. Triceratops. Aus der oberen Kreide des nordamerikanischen Felsengebirges.

trotzdem waren es echte Saurier, keineswegs Übergangsformen zwischen diesen und den Säugern. Wirkliche Zwischenformen werden wir später aus einer weit älteren Periode der Erdgeschichte kennen lernen.

Die in Kreideschichten gefundenen Säugetierreste gehören vorwiegend kleinen Beuteltieren an. Doch scheint es schon Insektenfresser (Igel, Spitzmäuse) sowie sehr primitive Raubtiere gegeben zu haben. —

Oben war die Rede von der auffälligen Verschiedenheit zwischen nördlicher und südlicher Entwicklung der Kreide; ein Gegensatz, der zweifellos auf klimatische Unterschiede zurückzuführen ist. Wie im Eozän die Nummuliten, jene Riesen-Kammerlinge, auf die südlichen Ozeane beschränkt waren, so zeichneten sich auch zur Kreidezeit die Meere der heißen Zone durch eine Fülle sehr merkwürdiger Tierformen, namentlich Muscheln, aus. Unter Muscheln pflegen wir uns heute gewisse Weichtiere vorzustellen, deren Schale aus zwei gleich gestalteten Klappen besteht; die Miesmuschel unserer Nord- und Ostsee ist ein charakteristisches Beispiel. Von dieser Symmetrie der Form ist bei den Kreidemuscheln des Südens

Abb. 24. Caprinula Baylei, die „Ziegenmuschel". Aus der sizilischen Kreide.

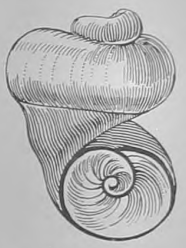


Abb. 25. Requienia ammonia. Aus der südfranzösischen Kreide.

keine Rede. Da kann die eine Klappe kegelförmig, die andere schneckenartig gewunden (Abb. 24) sein, auch in der Größe unterscheiden sie sich meist sehr bedeutend. Bei der sonderbaren Requienia ammonia (Abb. 25), die fast wie ein Widderhorn aussieht, versieht die eine Klappe nur noch den Dienst eines ziemlich lose aufsitzenden Deckels, der das Horn am breiten Ende

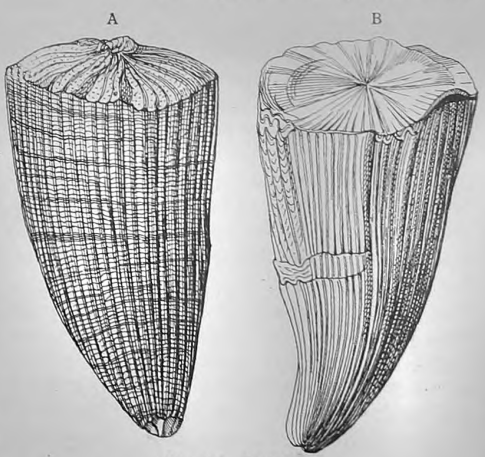


Abb. 26. Rudisten.
A Hippurites cornu vaccinum, die „Pferdemuschel". Aus der Gosaukreide (Oberösterreich).
B Radiolites cornu pastoris. Aus der südfranzösischen Kreide.

schließt. Am weitesten entfernen sich die sogenannten Rudisten vom gewöhnlichen Bau einer Muschel (vgl. Abb. 26). Man hat sie denn auch ursprünglich für ganz andere Tiere, für Korallen, Kopffüßer oder gar beschalte Würmer, gehalten. Die Rudistentiere saßen in langen, dickwandigen Kegeln, die mit ihren spitzen Enden im seichten Meeresboden hafteten. Oben war ein Verschluß, ein Deckel wie bei den Requienien, aber hier durch mächtige, solide Zapfen in das untere Gehäuse eingelassen. Ein Muskel ermöglichte den Tieren, den Deckel etwas hinaufzuschieben, wodurch die Schale sich öffnete. Der „Wohnraum" im Innern war auffällig klein und eng im Verhältnis zur Größe und Dicke des Gehäuses. Versteinerte Rudisten sind in den Kreideschichten der Alpen und Pyrenäen sowie der Mittelmeerländer ungemein häufig; die Tiere haben offenbar in Massen vereinigt gelebt und zusammen mit anderen Schaltieren Riffe von bedeutender Ausdehnung aufgebaut. Eine Kolonie von Rudisten muß einen eigentümlichen Anblick gewährt haben: Hunderte der langen, plumpen Kegel, aufgerichtet balanzierend im bewegten Wasser; unter den gelüpften Deckeln hervor streckt sich ein Gewirr beweglicher Bänder und Fäden, die Stoffwechsel und Atmung vermitteln. Zwischen den schwankenden Kegeln kriechen sonderbare Schnecken: Actaeonella, fast anzusehen wie ein großes, dickes Ei, Nerinea, von der Gestalt eines langen, zugespitzten Stabes. Über das Riff hinweg aber schwimmen jene merkwürdigen Schaltiere mit spiralig gewundenen Gehäusen, die Ammoniten, Verwandte des heute in tropischen Meeren lebenden Perlbootes, und die keulenförmigen Belemniten aus der Gruppe der Tintenfische. Von diesen Tiergeschlechtern, deren Blüte in die Jurazeit fällt, werden wir sogleich Näheres hören.

Die abenteuerlichen Muscheltiere teilen das Schicksal der Riesensaurier, sie verschwinden an der Wende der Kreidezeit. Nur eine einzige Gattung, deren Verwandtschaft mit den Pferde- und Ziegenmuscheln aber nicht über allen Zweifel erhaben ist, hat sich seit der Kreide bis auf unsere Tage erhalten. Es ist Chama, eine dickschalige, ungleichklappige Muschel, die sich mit Vorliebe auf Korallenriffen ansiedelt. Ihre Schale unterscheidet sich, wie die Beobachter versichern, dem Aussehen nach kaum von dem Fels, auf dem sie sitzt, und läßt eher einen zufälligen Steinknoten als ein geformtes Wesen vermuten.

Jura.

Die Jurazeit ist vielleicht die populärste aller geologischer Perioden. Beinah jeder hat wohl schon von dem großen „Jurameer" gehört, welches nahezu ganz Deutschland überflutete, und gar mancher hat gewiß ein paar schöne Versteinerungen aus dieser so lange entschwundenen Periode gesammelt und voll Stolz heimgetragen, denn der Reichtum an versteinerten Tieren in den Juraschichten grenzt ans Fabelhafte. Zwei Gruppen der jurassischen Lebewesen sind so massenhaft verbreitet, zugleich ihrer äußeren Erscheinung nach so auffallend, daß — eine Seltenheit — der Volksmund ihnen eigene Namen gegeben hat: Ammonshörner und Donnerkeile, auch wohl Teufelsfinger, heißen sie in der Sprache des einfachen Mannes. Die gelehrten Bezeichnungen lauten Ammoniten und Belemniten. Beides sind Weichtiere, und zwar von der Klasse der „Kopffüßer" (Zephalopoden).

Das seltsam klingende Wort „Kopffüßer" bezieht sich auf die Arme oder Fühler (Tentakeln), die wie ein Kranz den Kopf dieser Tiere rings umgeben. Bei den Tintenfischen und Kraken, den heutzutage fast allein übriggebliebenen Zephalopoden, sind die Arme zu furchtbaren Greiforganen entwickelt; von schlangenförmiger Gestalt, bestehen sie ausschließlich aus Muskelmasse und vermögen ein gepacktes Opfer so zu umschlingen und zu verstricken, daß ein Entkommen ganz undenkbar ist. Bekannt sind die Berichte früherer Seefahrer über Riesenkraken, die mit ihren ungeheuren Armen ganze Schiffe in die Tiefe gezogen haben sollen. Früher hat man dergleichen als Ammenmärchen verlacht; seitdem aber mehrfach gestrandete Riesenpolypen gefunden wurden, deren Tentakeln bei der Dicke eines Männerarmes zehn und mehr Meter Länge erreichten, läßt sich nicht leugnen, daß solche Tiere kleineren Schiffen sehr wohl gefährlich werden können.

Die ausgestorbenen Belemniten, den Tintenfischen nahe verwandt, waren keine so furchtbaren Ungeheuer. Was man von ihnen versteinert findet, ist in der Regel nur die sogenannte Scheide (Rostrum), deren finger- bis keulenförmige Gestalt (Abb. 27) die erwähnten volkstümlichen Benennungen veranlaßt hat. Die

Scheide umhüllte die eigentliche Schale des Belemniten, die ziemlich selten erhalten ist, und war ihrerseits ganz von dem weichen Mantel des Tieres umwachsen, lag also im Innern des Körpers. Die heutigen Tintenfische haben sowohl Scheide wie Schale verloren und besitzen nur noch den „Schulp", ein im Rücken eingelagertes horniges oder kalkiges Blatt. Die kalkigen Schulpe sind unter dem Namen „Sepia" aller Welt bekannt. Auch die Belemniten besaßen den Schulp, ein dünnes Kalkblatt, das aber äußerst selten der Zerstörung widerstanden hat. Abb. 28, die „Restauration" eines Belemniten, mag den ziemlich verwickelten äußeren Bau dieser Tiere veranschaulichen.

Abb. 27. Scheide eines Belemniten, sogenannter Donnerkeil.

Die Ammonshörner gleichen äußerlich gewissen flachen Schneckenhäuschen, z. B. der bekannten Tellerschnecke (Planorbis). Schleift man aber die äußere Schalenschicht fort (bei vielen Ammoniten ist sie schon im Lauf der Versteinerung verschwunden), so erkennt man, wie das Gehäuse aus zahlreichen Kammern zusammengesetzt ist, die durch einen am Außenrand verlaufenden Kanal miteinander in Verbindung stehen (vgl. die nebenstehende Abbildung der Nautilusschale, die einen sehr ähnlichen Aufbau zeigt). Ursprünglich war das Tier auf dem Boden der innersten, kleinsten Kammer festgeheftet, mit zunehmendem Wachstum rückte es immer weiter nach vorn und bildete durch kalkige Ausscheidungen seines Mantels die röhrige Schale und hinten die Scheidewände der Kammern; dabei blieb aber das hintere Leibesende des Ammoniten in der Anfangskammer haften und wurde allmählich zu einem häutigen, an einen Darm erinnernden Strang ausgezogen, der alle Scheidewände durchbohrt und in Form des oben erwähnten „Kanals" uns versteinert vorliegt. Man bezeichnet diesen hohlen Strang, dessen eigentlicher Zweck ziemlich dunkel ist, als „Sipho". Die leeren Hintergemächer waren mit Luft erfüllt und dienten dem Tiere wohl als Schwimmapparat.

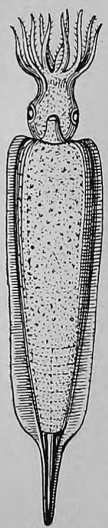


Abb. 28. Rekonstruktion eines Belemniten.

Ein Verwandter der Ammoniten ist das heutzutage im indischen Ozean lebende Perlboot Nautilus). Auch bei ihm finden wir die vielkammerige Schale, aber es zeigen sich charakteristische Unterschiede (z. B. in der Lage des Siphostranges), die den Nautilus einer anderen Ordnung der Kopffüßer zuweisen. Die Blütezeit dieser Perlbootsippe fällt in weit ältere Perioden der Erdgeschichte, wir werden später auf sie zurückkommen.

Ein Ammonshorn oder eine Nautilusschale wird niemand mit einem Belemniten verwechseln (vgl. Abb. 30, die einige besonders wichtige Jura-Ammoniten wiedergibt), eine andere Frage ist, wie sich wohl die im Innern steckenden Tiere unterschieden. Da die Weichteile selbstverständlich nie erhalten sind, scheint eine Antwort kaum möglich. Glücklicherweise hat man im englischen Jura ganze Abdrücke von

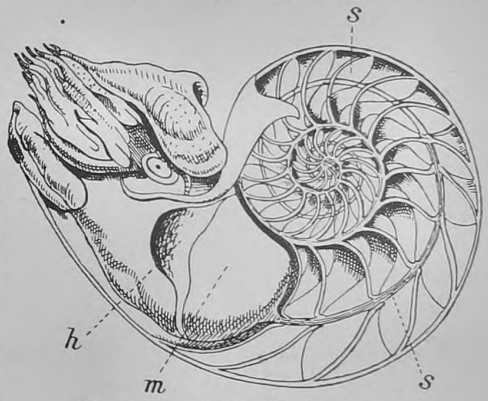


Abb. 29. Das Perlboot (Nautilus Pompilius). Schale, in der Mittelebene durchgeschnitten, um die Luftkammern, Scheidewände und den Sipho (s) zu zeigen. Vorn die Wohnkammer mit dem Tier (m kalkabscheidender Mantel, h Haftmuskel, mit dem das Tier festgewachsen ist).

Belemniten gefunden, die ihre nahe Verwandtschaft mit den Tintenfischen außer Frage stellen. Deutlich ist ein langgestreckter Körper zu erkennen, dessen Kopf zehn gleich lange, mit Häkchen besetzte Arme umgeben. Ja, in der Regel ist auch der Abdruck des Tintenbeutels erhalten. Auf Grund dieses Befundes schließt man, daß die Belemniten zu den Zweikiemern gehörten, wie die Tintenfische im Gegensatz zum Perlboot, das vier Kiemen besitzt. Aber von der inneren Organisation der Ammonitentiere kennen wir nur die Lage jenes merkwürdigen, langausgezogenen Blutgefäßstranges (Siphos), sonst rein gar nichts, wissen also auch nicht, ob sie zwei, vier oder mehr Kiemen besaßen. Das Perlboot kommt ja der äußeren Gestalt nach den Ammoniten recht nahe; aber daraus einen

Schluß auf den inneren Körperbau zu ziehen, wäre allzu gewagt. Bilden doch auch Schnecken und Wurzelfüßer ähnliche Gehäuse. Manche Forscher vertreten die Ansicht, das heute im

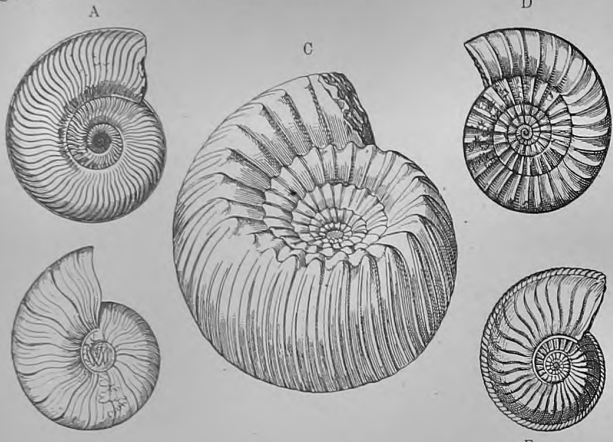


Abb. 30. Einige wichtige Jura-Ammoniten.
A B Zwei Arten der Gattung Harpoceras. C Stephanoceras coronatum.
D Arietites Bucklandi. E Amaltheus margaritatus.

Mittelmeer lebende Papierboot (Argonauta argo, Abb. 31), ebenfalls ein Zweikiemer, sei ein direkter Nachkomme, gleichsam der „letzte Mohikaner" des Ammonitenstammes. Hier zeigt sich aber sogleich eine Schwierigkeit. Nur das Weibchen des Papierboots besitzt eine Schale, dem viel kleineren Männchen fehlt sie. Die Schale ist kahnförmig, milchweiß, papierdünn. Sollen wir nun annehmen, all die zahllosen Ammonitengehäuse der Vorzeit rührten nur von Weibchen her, während die „nackten" Männchen spurlos untergegangen sind, oder hat das stärkere Geschlecht sein Gehäuse im Lauf der Entwicklung verloren? Und noch zwei andere Bedenken! Erstens fehlt dem Papierboot die oben erwähnte Blutgefäßröhre (der Sipho). Sie hätte bei ihm auch keinen Zweck; denn zweitens ist der Argonaut gar nicht in seiner Schale befestigt, sitzt vielmehr lose darin und umfaßt sie nur mit seinen breiten Flossen. Die Ammonitentiere dagegen waren, wie man an gut erhaltenen Versteinerungen sehen kann, durch einen starken Muskel in ihrem Gehäuse festgeheftet. Man sieht, die Unterschiede sind bedeutend genug, um die Ammonitennatur des Papierboots einstweilen noch recht zweifelhaft erscheinen zu lassen.

Echten Ammoniten begegnet man schon in sehr alten Perioden der Erdgeschichte, aber ihre Hauptblütezeit fällt ins Mittelalter der Erde, das in zeitlicher Aufeinanderfolge aus drei Perioden: Trias, Jura und Kreide, besteht. Namentlich im Jura entfalten sie eine schier unermeßliche Formenfülle. Immer wieder treten neue Arten, neue Stufen der Entwicklung auf. Immer reicher wird die äußere Verzierung der Schale, immer verwickelter der Bau der Kammerwände. Auf Grund dieser rastlosen Fortbildung hat man den schwäbischen Jura, das klassische Gebiet der Ammonitenforschung, in nicht weniger als 18 Unterabteilungen zerlegt, deren jede ihre charakteristischen Leitammoniten führt. Mit dieser verwickelten Chronologie wollen wir den Leser nicht weiter behelligen, zumal sie auf nichtschwäbische Verhältnisse kaum anwendbar ist. Für unsere Zwecke wird es genügen, die drei

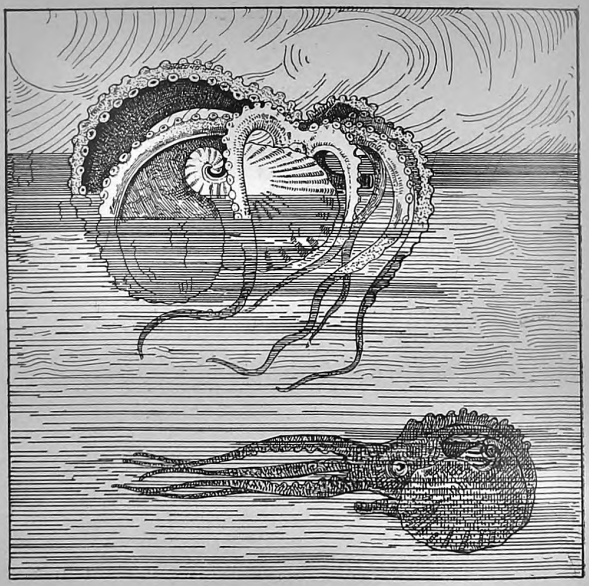


Abb. 31. Das Papierboot (Argonauta argo).

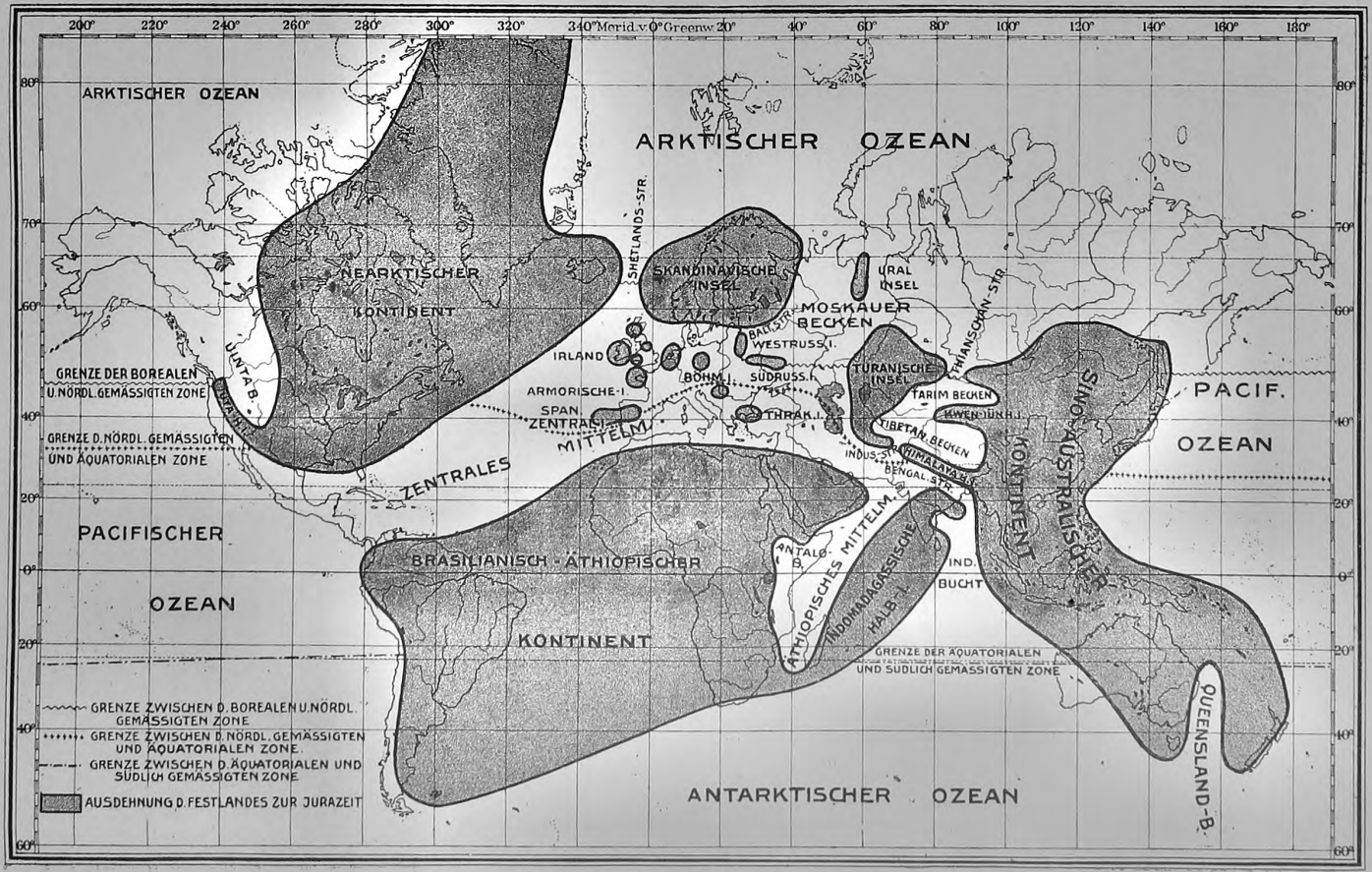


Abb. 32. Karte der Erde zur Jurazeit nach Neumayr.

Hauptabschnitte der Jurazeit, Lias, Dogger und Malm, in ihren Grundzügen kennen zu lernen.

Das Wort „Lias" stammt aus dem Englischen und bezeichnete ursprünglich gewisse stark durch Ton verunreinigte Kalksteine aus dem unteren Jura Englands. Die älteren deutschen Geologen gebrauchten für die entsprechenden Schichten ihrer Heimat den Ausdruck „schwarzer Jura" (wegen der dunklen Farben der Gesteine), später wurde die englische Benennung von den Geologen aller Länder angenommen.

Wie die Erde zur Jurazeit aussah, davon mag umstehendes Kärtchen (Abb. 32, nach Neumayr, dem bekannten Verfasser der „Erdgeschichte") eine annähernde Vorstellung geben. Wer einen Blick darauf wirft, mag sich versucht fühlen, das alte Witzwort zu variieren: „Welt, wie hast du dich verändert!" In der Tat gibt es nur eine einzige Übereinstimmung zwischen der Jura-Geographie und der von heute, dort, wo der Stille Ozean seine unermeßlichen Wassermassen ausbreitet. Diese gewaltige Einsenkung der Erdkruste ist wenigstens in ihren nördlichen und südlichen Teilen uralt, vielleicht gab es dort schon tiefe Meeresbecken, als noch keine Fische, keine Urkrebse, keine Weichtiere noch Stachelhäuter existierten, die sie hätten bevölkern können. Für den mittleren, zwischen den Wendekreisen gelegenen Teil dürfte jedoch die Darstellung Neumayrs nicht das Richtige treffen; hier sind, wie später gezeigt werden soll, ausgedehnte Landmassen während des Mittelalters der Erde mit Bestimmtheit anzunehmen.

Die Verteilung von Land und Meer, wie sie auf der Karte dargestellt ist, gilt nur für die spätere Jurazeit. Jura und Kreide zeigen in ihrer Entwicklung mancherlei Übereinstimmendes; dahin gehört auch, daß beide mit einer Festlandsperiode beginnen, auf die später ungeheure Überflutungen folgen. So waren auch zur Liaszeit die drei auf der Karte sichtbaren Kontinente weit ausgedehnter, namentlich gilt das für den nordatlantischen, der vermutlich über Alaska und die Behringstraße mit dem ostasiatisch-australischen Festland zusammenhing. Auch ganz Osteuropa (von Sachsen und Bayern an) sowie bedeutende Strecken Sibiriens lagen über dem Meeresspiegel. Einen Beweis für diese Annahme liefert, abgesehen vom Fehlen der Meeresablagerungen, das Auftreten zahlreicher Braunkohlenlager im Lias von China, Persien, Sibirien, vereinzelt auch in Ungarn, Pommern und auf Bornholm.

Diese Braunkohlen haben sich jedenfalls, wie die tertiären, in flachen, sumpfigen, von üppigem Pflanzenwuchs bedeckten Küstenländern gebildet. Aber die Vegetation war zur Liaszeit noch eine ganz andere, keine Spur von Laubhölzern, von Gräsern, von echten Palmen, die Entwicklung war erst bis zu den nacktsamigen Blütenpflanzen (Gymnospermen) vorgeschritten; neben massenhaften Farnkräutern und Schachtelhalmen lieferten Zapfenpalmen (Zykadeen) und Koniferen das Material zum Aufbau der jurassischen Kohlenflöze.

Im Gegensatz zum Osten der Alten Welt war Westeuropa, mindestens bis zur Linie Born-

Abb. 33. Pentacrinus Briareus.
Aus dem englischen Lias.

holm—Dresden—Regensburg, vom Liasmeer überflutet. Es war ein warmes Meer, belebt von einer Fülle merkwürdiger, heute wohl ausnahmslos ausgestorbener Lebewesen. Auf die reiche Erscheinungswelt der Ammoniten und Belemniten, der Muscheln und Armfüßer (Brachiopoden) einzugehen, müssen wir uns an dieser Stelle versagen, bei Besprechung der Geologie Schwabens werden wir ihre hauptsächlichen Vertreter kennen lernen. Nur der wunderbaren Seelilie (Pentacrinus) sei gedacht, deren reich verzweigte Krone an langem Stiel aus dem schlammigen Meeresboden emporwuchs (Abb. 33). Die Gattung Pentacrinus lebt noch heute

und bildet, nach den Beschreibungen der Tiefseeforscher, förmliche Wiesen auf dem Grunde des Ozeans. Wie reich ihr Vorkommen z. B. in gewissen Teilen der Südsee ist, hat die Challenger-Expedition nachgewiesen, der es einmal gelang, mit einem einzigen Schleppnetzzug in ca. 900 m Tiefe 50 Stück dieser Seelilien zu erbeuten. Auch den Grund des Liasmeeres müssen die Pentakrinen auf weite Strecken völlig bedeckt haben. Ihre versteinerten Stiel- und Armglieder, kleine fünfstrahlige Sterne oder Scheiben, früher Bonifaziuspfennige genannt, erfüllen ganze Schichten, aber auch vollständige, mit Krone und Stiel erhaltene Exemplare sind durchaus nicht selten. Deren fanden sich z. B. nicht weniger als 24 auf einer einzigen Steinplatte des schwäbischen Lias, die jetzt im Tübinger Museum aufgestellt ist.

glich weit mehr einem richtigen Fisch als einem Delphin; er besaß neben den breiten, flossenartigen Füßen noch eine hohe Rückenflosse und statt des dünnen Schwanzes eine gewaltige, zweilappige, etwas unsymmetrische Schwanzflosse (Abb. 34). Unter den Echsen der Vorwelt ist er die fremdartigste Erscheinung. „Die Ichthyosaurier," schreibt Zittel, „haben die Schnauze eines Delphins, die Zähne eines Krokodils, den Kopf und das Brustbein einer Eidechse, die Flossen eines Wals, die Wirbel und den Schwanz eines Fisches." Am sonderbarsten mutet uns der Schädel des Tieres an mit dem breiten Ring von Knochenplatten rund um die Augen, dann der riesige Schnabel, in dessen Rinnen jederseits, oben und unten, 50 spitze Kegelzähne, etwa so groß wie Mannsdaumen, standen. Dieses furchtbare Krokodilgebiß muß

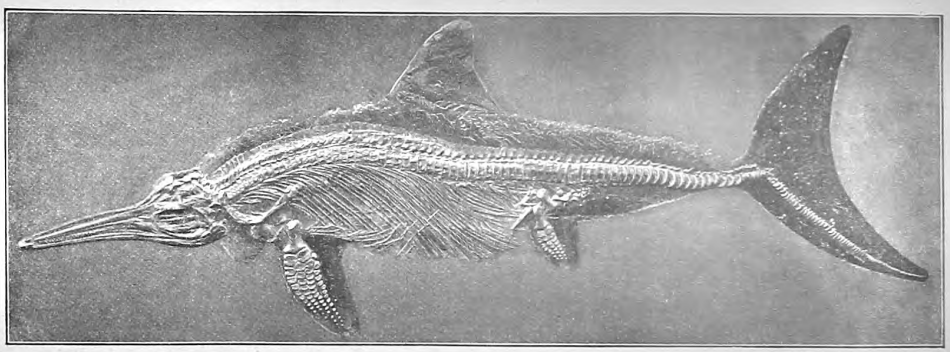


Abb. 34. Ichthyosaurus quadriscissus des oberen Lias, mit vorzüglich erhaltenem Hautsaum aus dem paläontologischen Atelier von B. Hauff, Holzmaden. (Im Besitz des Senckenbergischen Museums, Frankfurt a. M.)

Wir wenden uns zu den Beherrschern jenes Ozeans, den riesigen Meeresechsen. Ichthyosaurus und Plesiosaurus sind heute schon populär gewordene Gestalten, was gewiß zum großen Teil Scheffels humorvollem Liede zu danken ist.

„Es rauscht in den Schachtelhalmen, verdächtig leuchtet das Meer,
Da schwimmt mit Tränen im Auge ein Ichthyosaurus daher",

so singen alljährlich Hunderte jugendfrischer Studentenkehlen.

Oft hat man auch versucht, die beiden Liasungeheuer zu rekonstruieren, sie so darzustellen, wie sie wohl im Leben ausgesehen haben mögen. Ältere Bilder dieser Art geben dem Ichthyosaurus ziemlich genau die Gestalt eines Delphins, nur mit breiten Ruderfüßen und einem langen Eidechsenschwanz. Der Plesiosaurus schwimmt auf dem Wasser und ringelt seinen schlangenhaft beweglichen Schwanenhals in die Höhe. Nach unseren heutigen Kenntnissen wäre hier mancherlei zu ändern. Der Ichthyosaurus

den Ichthyosaurus zum Schrecken und unumschränkten Tyrannen der Meere gemacht haben, wir kennen aus der Liaszeit kein Tier, das im Kampf mit ihm hätte bestehen können. Bliebe aber an seiner Raubtiernatur noch ein Zweifel, so beseitigen ihn die verdauten Speisereste (sogenannte Koprolithen) des Ungeheuers, die man gleichfalls in Mengen versteinert findet. Sie enthalten Schuppen und Gräten von Fischen, Knochen von Reptilien und Schalenstücke von Tintenfischen.

Auch darin weichen die Fischsaurier von der großen Mehrzahl aller bekannten Echsen ab, daß ihr Körper nackt, d. h. nicht durch Schuppen oder Knochenplatten geschützt war. Eine dicke Lederhaut, deren Abdruck bisweilen erhalten ist, bedeckte ihn.

Auch der Plesiosaurus war wahrscheinlich nackt, im übrigen aber dem Ichthyosaurus so unähnlich wie möglich. Schädel und Schnauze waren klein, daher auch das Gebiß bei weitem

nicht so furchtbar. Das auffallendste Merkmal des Tieres bildet der übertrieben lange Hals, an dessen Ende der schmale Eidechsenkopf fast nur wie ein Anhängsel erscheint (Abb. 35). Früher glaubte man, das Tier sei wie ein Schwan auf dem Wasser gerudert, den schlangenartig bewegten Hals hoch emporgerichtet. Nach neueren Untersuchungen ist diese Auffassung nicht richtig, vielmehr lebten die Plesiosaurier unter der Oberfläche des Meeres und streckten beim Schwimmen den Hals wie einen langen Stab vor sich hin. Merkwürdig ist, wie Ichthyosaurus und Plesiosaurus durch ganz verschiedene Mittel ihre Gestalt der Lebensweise im Wasser, im Sinn möglichst rascher Fortbewegung, angepaßt haben. Zweckmäßig war hierbei vor allem ein vorn spitz zulaufender Körper. Die Plesiosaurier erreichten dieses Ziel durch ungeheure Streckung des Halses und Verschmälerung des

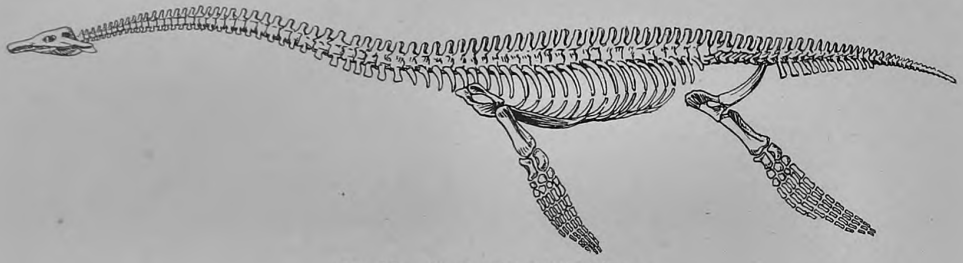


Abb. 35. Plesiosaurus dolichodeirus.

Kopfes, während umgekehrt die Fischsaurier den Hals ganz aufgaben und dafür den Kopf in einen spitzen Schnabel verlängerten (W. Dames).

Trotz ihres Riesenhalses blieben die Plesiosaurier an Körpergröße hinter den Fischsauriern zurück, deren größte bislang gefundene Exemplare mehr als zehn Meter in der Länge messen.

Den mittleren Jura bezeichnet man als Dogger (gleichfalls ein englisches Wort), bei uns auch als „braunen" Jura. Es beginnt jetzt die Zeit der großen Überflutungen, was wir daran erkennen, daß Doggerschichten in vielen Gegenden vorkommen, wo der Lias noch fehlt. An versteinerten Meerestieren, namentlich Seeigeln, Muscheln, Ammoniten und Belemniten, ist auch der braune Jura überreich, dagegen im Reich der Wirbeltiere bietet er wenig Interessantes. Die großen Raubechsen des Meeres gehen erheblich zurück, ohne daß zunächst neue Formen ihre Plätze ausfüllen. Haifische scheinen im Doggermeer recht verbreitet gewesen zu sein, — ob dies am Ende Feinde waren, die selbst den Ichthyosauriern verderblich wurden? Von den Landtieren jener Zeit wissen wir sehr wenig, doch sind uns aus England Reste kleiner Beutler überliefert. Diese Ursäuger erinnern teils an die amerikanischen Beutelratten, teils standen sie offenbar den plazentalen Insektenfressern schon recht nahe.

Hervorragend technische Bedeutung besitzen gewisse Lagen des Doggers durch ihren Gehalt an Eisenerz. Im Grenzgebiet zwischen Luxemburg, Deutsch- und Französisch-Lothringen haben diese Schichten, die sogenannte Minette, einen blühenden Bergbau ins Leben gerufen. Unter Minette versteht man ein dichtes Brauneisenerz von eigentümlichem Gefüge; lauter winzige, schießpulverähnliche Körnchen, genannt Dolithe, setzen es zusammen. Untersucht man ein solches Körnchen mikroskopisch, so stellt sich heraus, daß es aus feinsten Schalen von Eisenerz aufgebaut ist, die sich wie die Häute einer Zwiebel um einen fremden Kern, z. B. das Bruchstück einer Versteinerung oder auch ein winziges Sandkorn, herumlegen. Die Minetten entstanden zweifellos nahe der Küste, in ziemlich seichtem Meere. Woher das Eisen kam, ist noch eine offene Frage; man kann annehmen, Flüsse hätten es dem Meere zugeführt, oder auch Mineralquellen, die aus dem Meeresgrund hervorbrachen, dafür verantwortlich machen. Merkwürdig bei der ganzen Sache ist zweierlei.

Zunächst der bedeutende Eisenreichtum des braunen Jura, auch abgesehen von den Minetten, die übrigens auch in anderen Gegenden, z. B. bei Aalen in Württemberg und in den Hochalpen des Kantons Uri, vorkommen. Mindestens ebenso verbreitet ist im Dogger der Toneisenstein, ein inniges Gemenge von Ton und kristallisiertem, kohlensaurem Eisen, dessen rundliche Knollen (sogenannte Nieren) oft ganze Schichten erfüllen. Bei Landsberg an der Warthe und in Polen bildet der Toneisenstein richtige Flöze, die bergmännisch ausgebeutet werden, aber auch, wo solche fehlen (wie im nordwestlichen Deutschland), durchsetzen den Dogger oft massenhaft Schnüre und dünne

Lagen eisenreichen Gesteins. Endlich erscheint ein drittes Eisenerz, der Schwefelkies, vornehmlich als Versteinerungsmittel der Ammoniten und anderer tierischer Reste jenes Zeitalters. Die Art der Versteinerung richtet sich selbstverständlich nach der Beschaffenheit des (später zu Gestein verhärteten) Schlammes, in den die Organismen eingebettet wurden. War der Schlamm kalkig, so wurden auch die Gehäuse der Tiere, bzw. die Ausfüllung ihres Innern, die „Steinkerne", zu Kalk, war er sandig, so entstanden kieselige Versteinerungen usw. Im braunen Jura finden wir nun ungemein häufig „verkieste", d. h. aus Schwefelkies bestehende Ammoniten, Seeigel und dergleichen. Ihre graugelbe Farbe, der goldartige Glanz, das schwere Gewicht machen sie auch dem wenig erfahrenen Sammler auf der Stelle kenntlich, in früheren Zeiten schrieb man solchen goldenen „Sonnensteinen" allerhand geheimnisvolle Kräfte zu.

Bekanntlich bildet sich noch heutzutage in fast ganz Nordeuropa auf dem Grunde von Sümpfen, Mooren, Teichen und Binnenseen der Raseneisenstein, auch wohl Sumpf- und Seeerz genannt. Das Eisen ist ursprünglich in den Gewässern gelöst und schlägt sich durch ziemlich verwickelte chemische Vorgänge daraus nieder, meist unter Mitwirkung der in stehenden Gewässern stets reichlich vorhandenen Pflanzen. Das Raseneisenerz besitzt sehr verschiedenartiges Gefüge, auch Kügelchen, wie die „Oolithe", kommen öfters darin vor. Aber wenn schon die Entstehung dieser Erzlager gewissermaßen vor unseren Augen vonstatten geht, für die Erklärung des Eisenreichtums der Doggerschichten können wir daraus nichts lernen. Denn die Minetten, Toneisensteine usw. bildeten sich im Meer, wo zweifellos die Verhältnisse ganz anders liegen als in Mooren und süßen Binnenseen. Aus unseren heutigen Ozeanen aber kennen wir keine frisch entstandenen Eisenerze, überhaupt scheinen sie sich seit der Doggerzeit nur ganz ausnahmsweise (z. B. im Eozän der Bayrischen Alpen) gebildet zu haben. Es bleibt sonach nur die Annahme übrig, daß in früherer Zeit die süßen Gewässer dem Meer weit mehr Eisen zuführten als heutzutage.

Die zweite Eigentümlichkeit des Doggers lernen wir in der Erscheinung kennen, daß auch der Kalkstein mit Vorliebe oolithisches Gefüge annimmt. Ganze Schichten, weit verbreitet im Schwarzwald und in der Provinz Hannover, bestehen aus hirse- bis erbsengroßen Kalkkügelchen, die ein gleichfalls kalkiges Bindemittel miteinander verkittet. In England hat man diese Bildungen, den ganzen braunen und weißen Jura, im Gegensatz zum Lias „oolite" benannt. Abb. 36 zeigt uns in 30facher Vergrößerung einen Kalkoolithen. Derartige Gesteine entstehen an gewissen Küsten, z. B. am Roten Meer und bei Florida, noch heutigen Tages, aber das will nichts besagen im Vergleich mit den gewaltigen Oolithmassen der Jurazeit. Wie das Eisen in den Minetten, so kristallisierte hier der Kalk rings um einen winzigen Fremdkörper aus, bald um ein im Wasser schwimmendes Foraminiferenschälchen, bald um ein hin und her rollendes Sandkorn. Oft aber fehlt im Innern der Kügelchen ein fremder Körper, dann nimmt man an, ein im Wasser treibendes Gasbläschen habe als Ansatzpunkt gewirkt. Auch der bekannte Karlsbader Sprudelstein, ein Absatz der dortigen Quellen, ist ein Kalkoolith.

Abb. 36. Kalkoolith aus dem braunen Jura des badischen Schwarzwalds. (Nach H. Rosenbusch.)

Die dritte, oberste Abteilung der Juraformation, der Malm oder weiße Jura, unterscheidet sich in manchen Dingen sehr auffällig vom Lias und Dogger. Zunächst ein rein äußerliches Merkmal: die Gesteine dieses jüngsten Abschnittes sind fast immer hell, oft leuchtend weiß, während im „schwarzen" und „braunen" Jura dunkle Farben den Ton angeben. Dieser Farbenwechsel hängt, wenigstens zum Teil, mit einer Änderung des Materials zusammen, aus dem die Gesteine sich bildeten. Im Malm erscheinen plötzlich in großen Mengen riffbildende Seeschwämme und Korallen; aus ihren versteinerten, überhaupt mannigfach veränderten Gehäusen und Skeletten bestehen in Schwaben ganze Felsberge, ja sogar Bergzüge von stundenweiter Ausdehnung. Na-

mentlich die Schwämme vermehren sich in ganz erstaunlicher Weise. Man kann im Gebiet der Schwäbischen Alb beobachten, wie die alten Riffbauten dieser Tiere bergartig die geschichteten, meist ammonitenreichen Kalklagen durchbrechen (siehe Abb. 37). Es sieht aus, als sei das Riff in die Kalkschichten hineingezwängt worden, in Wirklichkeit verlief der Vorgang

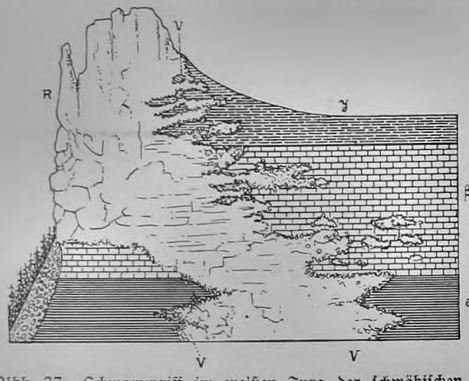


Abb. 37. Schwammriff im weißen Jura der schwäbischen Alb. (Nach Eb. Fraas.)
R ungeschichteter Riffkalk (Vorriffzone V); α, β, γ normale geschichtete Zonen des weißen Jura.

natürlich umgekehrt. Zuerst war das Schwamm- oder Korallenriff da; als Insel stieg es vom seichten Meeresgrunde bis nahe an die Oberfläche empor; allmählich wurde es dann von unten her durch die kalkigen Absätze des Wassers eingehüllt und zugebaut. Wenn heute an den Steilabstürzen der Alb die Riffe zum großen Teil wieder freigelegt sind, wenn sie in wilden, zerrissenen Felsformen zum Himmel ragen, so beruht das auf späterer Abtragung der umgebenden Schichten, zu einer Zeit, als das ganze Gebiet festes Land geworden war. Da spülten Regen und schmelzender Schnee, Quellen und Bäche allen lockeren Sand, Schlamm und Ton fort, aber den festen Schwamm- und Korallenkalken vermochten sie nicht viel anzuhaben. Die blieben als Wände, als Türme und Zinnen bis in unsere Tage stehen, wertvolle Denkmäler des ungemein reichen Tierlebens im jüngeren Jurameer.

So interessant diese Bildungen sind, an Berühmtheit werden sie von anderen Ablagerungen der Malmzeit, den „lithographischen" Schiefern, weit übertroffen. Es sind dies kalkige Schiefer, ausgezeichnet durch höchst feines Korn, sehr gleichmäßiges Gefüge und die Eigenschaft, in großen, vollkommen ebenen Platten zu brechen, — lauter Vorzüge, die sie zu einem fast idealen Material für Lithographiesteine machen. Ihre hohe technische Bedeutung hat denn auch einen blühenden Steinbruchbetrieb ins Leben gerufen, wovon sich jeder, der die Eisenbahn von Ingolstadt nach Ansbach benutzt, schon im Vorbeifahren überzeugen kann. Namentlich bei Solnhofen und Pappenheim sieht man überall an den Bergen die grauen Schutthalden der Steinbrüche. Aber die „Solnhofener Schiefer" sind nicht nur für die Technik wertvoll, auch der Wissenschaft haben sie die reichsten Schätze geliefert. Aus ihren Schichten stammen prachtvolle, vollständig erhaltene Skelette der merkwürdigen Flugechsen (Pterosaurier), die unter den Reptilien eine ähnliche Stellung einnehmen wie die Fledermäuse unter den Säugetieren, stammen zahlreiche Fische, Krebse, Haarsterne, Tintenfische, Schildkröten und Krokodile, stammt vor allem der berühmte „Urvogel", der Archäopteryx (Abb. 38), ein Bindeglied zwischen Vögeln und Kriechtieren. Bei ihm müssen wir ein paar Augenblicke verweilen.

Über die Bedeutung des Urvogels für die Entwicklungsgeschichte ist viel gestritten worden, die Gegner der Darwinschen Lehre haben sich hartnäckig gesträubt, ihn als Übergangsform anzuerkennen, und betonen, daß er nach allen

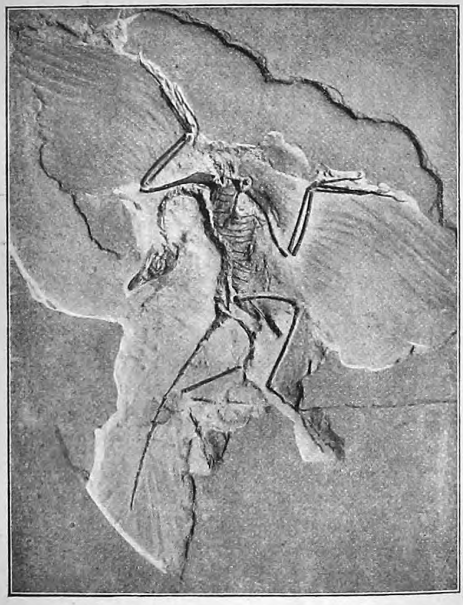


Abb. 38. Der Urvogel (Archaeopteryx lithographica). (Stark verkleinert.)

wesentlichen Kennzeichen ein echter Vogel sei. Letzteres kann man mit gewisser Einschränkung zugeben, denn der Archäopteryx besaß ein voll-

ständiges Federkleid, dessen Abdruck im feinen Schlamm der alten Meeresbucht getreu wiedergegeben ist, auch Schädel, Schultergürtel und Hinterbeine sind durchaus nach Art der heutigen Vögel gebaut. Ebenso deutlich aber treten gewisse Reptilienmerkmale hervor, so die schlanken, dünnen Rippen, zu denen auch zwölf den späteren Vögeln verloren gegangene Bauchrippenpaare gehören. Ein Knochenring ums Auge und ein langer Eidechsenschwanz vervollständigten das echsenartige Aussehen des Tieres. Auch ist sehr bemerkenswert, daß dieser Urvogel freie, mit Krallen bewehrte Finger an den Flügeln, besser würde man sagen Vorderbeinen, trug. Denn er ist allem Anschein nach

Abb. 39. Rekonstruktion des Archäopteryx. (Nach einem Gemälde im Senckenbergischen Museum in Frankfurt a. M.)

ein sehr ungeschickter Flieger, viel eher ein Klettertier gewesen, das mit Hilfe seiner starken, scharfen Krallen an Bäumen und Felsen behende emporklomm. Dieses unvollkommene Flugvermögen mag auch schuld sein, daß manche Exemplare ihr Grab auf dem Meeresgrunde fanden und, in seinem Schlamm eingebettet, der Nachwelt erhalten blieben. Geriet solch ein Klettervogel, von einem Feinde, etwa einer großen Flugechse, verfolgt, auf das Meer hinaus, so konnte er sich nur kurze Zeit in der Luft halten und ging sehr bald in den Wellen zugrunde.

Betrachtet man den Körperbau des Archäopteryx im ganzen, so bleibt an seiner vermittelnden Stellung zwischen Reptilien und Vögeln kein Zweifel möglich. Anscheinend gab es zur Jurazeit noch keine höher entwickelten Flieger, sie sind wahrscheinlich erst im Lauf der Kreideperiode aus unbekannten Urformen hervorgegangen.

Die beigegebene farbige Tafel versetzt uns an die Küste des süddeutschen Jurameeres. Wir blicken hinaus auf die weite, bis zum Horizont reichende Wasserfläche, die nur von ein paar kleinen, flachen Koralleneilanden unterbrochen wird. Im ruhigen Wasser zwischen Inselkranz und Festland tummeln sich in Scharen die gewaltigen Seeraubechsen jener Zeit, Ichthyosaurier und Plesiosaurier, sowie einige kaum minder furchtbare Krokodile (Teleosaurier), von denen eines das nasse Element verlassen hat, um sich am warmen Strande zu sonnen. Am Grunde der kleinen Bucht entfaltet sich ein reiches, tierisches Leben: farbenprächtige Korallenstöcke, Kolonien von Schwämmen, Gruppen schlanker, reichverästelter Seelilien gedeihen in der warmen Flut, und zwischen diesen seßhaften Formen bewegen sich Ammoniten, Belemniten und große, zu den Schmelzschuppern (Ganoiden) gehörende Fische. Den einen (Lepidotus) möchte man für einen stattlichen Karpfen halten, der andere (Gyrodus) erinnert mit seinem plattgedrückten, hochrhombischen Körper ein wenig an die heutige Scholle. Sie sind aber mit diesen Knochenfischen gar nicht verwandt.

Der flache Strand ist von den charakteristischen Gewächsen jenes Zeitalters, Araukarien, Sagopalmen und Farnsträuchern bestanden. Auf einem der Bäume hat sich der seltsame Urvogel niedergelassen, unfern davon schwebt über dem Wasser ein räuberischer Flugsaurier. Ganz vorn auf der rechten Seite des Bildes fällt uns noch eine merkwürdige Gestalt ins Auge. Es ist ein auf dem Lande lebender Springsaurier (Compsognathus), der sich nach Art des Känguruhs durch weite Sprünge vorwärts bewegte und beim Sitzen seinen langen, überaus kräftigen Schwanz als Stütze benutzte. Compsognathus gehört zur Gruppe der Theropoden (Raubtierfüßler), die zwar manche vogelähnliche Merkmale besaßen, aber im Gegensatz zum Urvogel noch ganz auf der Seite der Reptilien stehen.

Bevor wir die Jurazeit verlassen, sei noch das wenige berichtet, was wir von ihren klimatischen Verhältnissen wissen. Sie scheinen im großen und ganzen denen der Kreide ähnlich gewesen zu sein. M. Neumayer, der berühmte Wiener Geologe, glaubte die heutigen Klimazonen, heiße, gemäßigte und kalte, auch im Jura nachweisen zu können, hauptsächlich

auf Grund der zonenweisen Verbreitung gewisser Ammoniten. Neuere Untersuchungen haben indessen ergeben, daß die Anschauungen Neumayers nur zum Teil berechtigt sind. Der Unterschied zwischen heißen und gemäßigten Klimagürteln scheint fortzufallen, dagegen die Existenz einer nördlichen, kalten Zone, deren Ablagerungen man als „russischen" oder „borealen" Jura bezeichnet, gesichert zu sein. Im russischen Jura fehlen vor allem die Korallen, jene wärmeliebenden Tiere, die, wenigstens in der Jetztzeit, nur dort gedeihen, wo die Meerestemperatur das ganze Jahr nicht unter 20 Grad Celsius sinkt; auch die Ammoniten sind ganz andere als im südlichen Jura.

Indessen darf man die Bezeichnung „kalte Zone" nicht im heutigen Sinne auffassen; könnte sich ein Nordeuropäer in die Jurazeit zurückversetzen und den Ländern am Polarkreise einen Besuch abstatten, so würde er deren Klima angenehm warm finden. Spitzbergen, Ostsibirien, selbst das jenseits des 80. Breitengrades gelegene Franz-Joseph-Land waren nach ihrem Auftauchen aus dem Jurameere von Kiefernwäldern bedeckt, auch Gingkobäume und den heutigen Eiben verwandte Gewächse gediehen in jenen Breiten. Heutzutage liegen alle diese Gebiete, wie bekannt, nördlich der Baumgrenze, selbst die Zwergbirke, der nördlichste Baum der Welt, geht nicht über Lappland hinaus. Sonach scheint festzustehen, daß die klimatischen Verhältnisse der Polarländer zur Jurazeit zwar bedeutend günstiger als gegenwärtig, aber ungünstiger als zu Anfang der tertiären Epoche gewesen sind, in der neben Laubwäldern selbst Magnolien und virginische Sumpfzypressen unter dem 80. Breitengrad ihr Gedeihen fanden. Während z. B. Spitzbergen im Frühtertiär etwa das Klima des wärmeren Mitteldeutschland besaß, kann man ihm zur Jurazeit höchstens ein norwegisches zugestehen, ein wichtiger Umstand, der uns belehrt, daß von einer fortschreitenden Abkühlung der Erdoberfläche, wenigstens zunächst im Lauf der jüngeren Erdgeschichte, keine Rede sein kann.

Trias.

Wieder ein Schritt rückwärts in der Entwicklung der Erde, und wir befinden uns in der Triaszeit.

Abgesehen von den eiszeitlichen Geröllschichten der Norddeutschen Tiefebene, macht sich keine Formation in unserem Vaterlande so breit, wie die Trias. Der weite Raum zwischen Schwäbischer Alb und Lüneburger Heide, zwischen Rheinischem Schiefergebirge und der Saale wird überall von triadischen Gebilden beherrscht; nur kleine Inseln älterer Gesteine und vulkanische Kuppen treten stellenweise daraus hervor. So kommt es, daß eine Bahnfahrt von Hannover über Würzburg nach Stuttgart, rund 540 Kilometer, fast ausschließlich über Triasland führt. Die freundlichen Hügel des Leinetals, die waldigen, burgengeschmückten Höhenzüge längs der mäandrisch gewundenen Werra, die Sandsteinberge zwischen Spessart und Rhön, die die Bahn hinter Elm in langem Tunnel durchbricht, das altberühmte Weinland Unterfranken, beherrscht von Würzburgs stolzer Feste, endlich das gesegnete Neckarland mit seinen Rebengeländen und Obstwäldern, — alles ist ein großes, zusammenhängendes Triasgebiet, das hinter Stuttgart, wenn auch bedeutend verschmälert, noch fast 150 Kilometer südwärts sich fortsetzt bis Waldshut am Oberrhein.

Das Wort „Trias", auf deutsch „Dreiheit", soll andeuten, daß die Formation in drei Hauptabschnitte zerfällt. So ist es wenigstens in Deutschland und einigen nahe benachbarten Gebieten, wo man die Schichtenfolge zuerst näher studiert hat. Die deutsche Trias zeichnet sich durch einen zweimaligen Wechsel von Land und Meer aus. Gerade wie Jura und Kreide, beginnt sie mit einer Festlandsperiode, dem Buntsandstein, aber im Gegensatz zur Liaszeit waren diesmal auch ganz Westdeutschland, ja fast ganz Westeuropa aus dem Meere aufgetaucht. Dann folgte eine allgemeine Überflutung der europäischen Tiefländer, die Zeit des Muschelkalks, nur einige uralte Gebirge, die Sudeten, Teile von Thüringen und Böhmen, das französische Zentralplateau, ragten als Inseln aus dem Wasser auf. Das waren Verhältnisse, wie sie ungefähr auch zur mittleren und jüngeren Jurazeit bestanden haben mögen. Endlich aber gab das Meer einen großen Teil des eroberten Gebiets wieder frei; ausgedehnte sumpfige Niederungen entstanden, in denen es stellenweise zur Bildung von Steinkohlen kam. Die Ablagerungen dieser zweiten Festlandszeit führen den Namen „Keuper" (eine aus der Koburger Gegend stammende Bezeichnung für gewisse Schichten dieser Formation). Gegen

Ende der Keuperzeit aber drang das Meer von Süden her zum zweiten Male vor und dehnte seine Herrschaft allmählich fast über ganz Westeuropa aus, diesmal für mehrere Jahrmillionen, denn erst am Abschluß der Juraperiode kam es zu einer erneuten Hebung unseres Kontinentes.

Die Ursachen dieser vielfachen Schwankungen liegen für uns gänzlich im dunkeln. Ob das Land sich auf und nieder bewegt hat, oder das Meer abwechselnd gestiegen und gefallen ist, kann man in diesem Falle ebensowenig feststellen wie bei der großen Kreide-Überflutung (S. 25). —

So bequem die Dreiteilung: Buntsandstein — Muschelkalk — Keuper ist, läßt sie sich doch auf den weitaus größten Teil der Triasablagerungen gar nicht anwenden. Deutschland und Westeuropa nahmen zu jener Zeit eine Ausnahmestellung ein, es waren die am weitesten nach Süden vorgeschobenen Ausläufer eines großen nordischen Kontinents, also Küstengebiete, nur zeitweilig (im Muschelkalk) von einem flachen Meer bedeckt. Wollen wir die eigentlichen Hochseeabsätze der Trias kennen lernen, so müssen wir uns ins Gebiet der alten „Tethys" begeben, des großen südlichen Mittelmeeres. Wir haben nicht weit zu wandern, — wo heute die Alpenkette emporstarrt, fluteten in der Trias die Wasser eines bergtiefen Ozeans, an dessen Grunde im Lauf der Jahrmillionen ungemein mächtige Schichtabsätze entstanden. Aufgerichtet, gefaltet, über- und durcheinandergeschoben, stehen diese Bildungen uns heute in den imposanten Ketten der nordtiroler und bayrischen „Kalkalpen" vor Augen. Wer den höchsten Gipfel dieses Gebirgslandes, die schroffe Parseierspitze unweit Landeck, erklimmt, steht auf ehemaligem Ozeanboden, mehr als 3000 Meter über dem heutigen Meeresspiegel! Freilich bauen sich die nördlichen Kalkalpen nicht ausschließlich aus Triasschichten auf, auch Jura und, in beschränktem Maße, Kreide nehmen daran teil. Aber die Mächtigkeit gerade der Triasgesteine bleibt erstaunlich. Viele Besucher des bayrischen Hochlandes werden sich des prachtvollen Panoramas erinnern, das den Talkessel von Garmisch-Partenkirchen zu einem so großartigen Standpunkt macht. In schroffen Wänden, kühnen Pyramiden und zackigen Graten steigt das Wettersteingebirge empor, von der Talsohle bis zu den höchsten Gipfeln ausschließlich aus Triasgestein aufgetürmt. Eins der großartigsten Schaustücke ist die Wettersteinwand selbst, eine Riesenmauer aus hellem Kalkgestein, das die Strahlen der untergehenden Sonne in glühendrote Farben tauchen. Diese gewaltige, wohl 1000 Meter aufragende Mauer ist die Schöpfung eines einzigen, verhältnismäßig kurzen Abschnitts der Triaszeit; wahrscheinlich ein altes Riff, aufgebaut von kalkabscheidenden Pflanzen (Algen) während eines Teiles der deutschen Muschelkalkzeit. Wenn man bedenkt, welch ungeheurer Zeitraum — sicherlich mehrere hunderttausend Jahre — zur Bildung eines derartigen Riffs erforderlich war, wird man die gewaltig großen Zahlen, mit denen die Erdgeschichte rechnet, nicht mehr übertrieben finden.

Während die Dreiteilung der „deutschen" Trias allgemein anerkannt ist, haben sich die Geologen über die Gliederung der „alpinen" Trias noch nicht endgültig einigen können; die meisten unterscheiden fünf oder sechs, manche aber nur vier „Stufen". Diese Unsicherheit hängt mit dem beispiellosen Wirrwarr der Schichten in vielen Gegenden der Alpen zusammen. Nicht nur, daß Versteinerungen häufig fehlen, und infolgedessen das Alter ganzer Schichtgruppen nur annähernd zu bestimmen ist, es können auch Ablagerungen einer einzigen Stufe in der nämlichen Gegend sehr verschiedenartig entwickelt sein. Man ist von vornherein gar nicht geneigt, Schichten mit ganz verschiedenen tierischen Resten für gleichaltrig zu halten; erst sehr eingehende Studien führen zu dieser Erkenntnis, wobei sich dann manchmal herausstellt, daß auch ungeheuer mächtige, versteinerungsleere Schichtmassen, ferner vulkanische Tuffe, Lavagesteine usw. ungefähr der gleichen Zeit entstammen. Die Geologen sprechen in solchen Fällen von „sehr jähem Fazieswechsel". Unter „Fazies", eigentlich „Antlitz", werden hier die Verschiedenheiten im Charakter der Versteinerungen wie auch der Felsarten (tonig, kalkig, vulkanisch usw.) verstanden. Um das Fremdwort zu vermeiden, wollen wir künftig vom „Gepräge" einer Schicht sprechen.

Soweit zur Triaszeit die Wogen der „Tethys" fluteten, wiederholt sich im großen und ganzen eine ähnliche Schichtenfolge wie in den Alpen. Das damalige „Mittelmeer" bedeckte ganz Italien, die Balkanhalbinsel und Kleinasien und reichte von dort über Persien und den Himalaja nach Hinterindien, wo es sich mit dem Stillen Ozean verband. Interessant ist namentlich die Übereinstimmung des Himalaja mit den Alpen; sie geht so weit, daß fast alle wichtigeren Schichtenstufen des einen Hochgebirges sich im anderen wiederfinden. Hi-

malaja, Alpen, Apennin und Karpathen entstammen einer Wiege, dem Mutterschoß des gleichen Weltmeeres, und wie ihre Herkunft, so ist auch das Zeitalter ihrer Geburt das gleiche; überall wurde der Meeresgrund um die Mitte der Tertiärzeit aufgewühlt, gefaltet, gehoben und schließlich zu himmelhohen, von ewigem Schnee bedeckten Ketten emporgetürmt.

Die Tatsache, daß so gewaltige Hochgebirge aus den Tiefen des Ozeans hervorgegangen, bildet ohne Zweifel ein sehr merkwürdiges, schwieriges Problem, mit dessen Erklärung sich eine ganze Reihe von Hypothesen beschäftigt. Wir werden die wichtigsten später kennen lernen, dringender heischt zunächst eine andere Frage Beantwortung: Woher weiß man denn eigentlich, daß die Triasschichten der Alpen usw. auf dem Grunde der Tiefsee entstanden sind, und wie unterscheiden sie sich von den Ablagerungen unseres deutschen „Muschelkalkmeeres", das eine Flachsee gewesen sein soll? Um hier Klarheit zu gewinnen, müssen wir etwas näher auf die Eigentümlichkeiten der „deutschen" Trias eingehen.

Deutschland und ein bedeutender Teil Westeuropas scheinen im ersten Drittel der Trias heißes, dürres Wüstenland gewesen zu sein. Daß unser Buntsandstein eine Wüstenbildung, also im wesentlichen durch den Wind „zusammengeblasen" worden sei, ist eine Auffassung, die in neuerer Zeit durch die Forschungen des bekannten Geologen Joh. Walther (Halle) fast zur vollkommenen Gewißheit geworden ist. Der Buntsandstein besitzt, namentlich in Südhannover, Hessen, Thüringen, Sachsen, eine derartige Verbreitung, daß ihn zweifellos ein großer Teil der Leser aus eigener Anschauung kennt. Eine tiefrote Färbung, bewirkt durch ein eisenreiches Bindemittel zwischen den Sandkörnern, ist die Regel, aber auch weiße, grüne oder buntgefleckte Abarten kommen häufig vor. In den genannten Landschaften verwendet man den Buntsandstein mit Vorliebe zum Häuserbau, obschon er sich dazu keineswegs besonders eignet, denn wie ein Schwamm saugt er alle Feuchtigkeit in sich ein und trocknet nur ungemein langsam wieder aus, eine Eigenschaft, die an den Wetterseiten der Mauern oft unangenehme Folgen nach sich zieht. Aus harten, festen Abarten stellt man Mühlsteine her, im Mittelalter hat das Gestein auch vielfach zu bildnerischen Arbeiten Verwendung gefunden.

Ist der Buntsandstein wirklich zusammengewehter, später verfestigter Wüstensand, so hat seine sonst auffällige Versteinerungsarmut nichts Befremdliches. Weite Gebiete unseres Vaterlandes waren damals von tierischem wie pflanzlichem Leben völlig entblößt. Nur in einzelnen dünnen Zwischenlagen, die gegenüber den mächtigen Sandsteinmassen fast verschwinden, finden sich Reste einer sehr ärmlichen Tierwelt. Es sind kleine Muscheln und Schnecken, aber nur wenige Arten, ferner Schuppen von Ganoidfischen (Schmelzschuppern, wie der heutige Stör) und Knochenreste sehr merkwürdiger Amphibien, der sogenannten Labyrinthodonten (vgl. unten). Am häufigsten aber kommen in solchen Schichten Abdrücke und Steinkerne eines winzigen Krebses mit Schalen vor, die denen mancher Muscheln zum Verwechseln ähnlich sehen (vgl. Abb. 40). Man hat das Tierchen Estheria minuta genannt; es gehört zur Ordnung der Blattfüßer, wie der heutige Kiemenfuß oder Apus. Diese Verwandtschaft wirft ein gewisses Licht auf das plötzliche massenhafte Erscheinen und ebenso rasche Verschwinden der Estherien in einzelnen Buntsandsteinschichten.

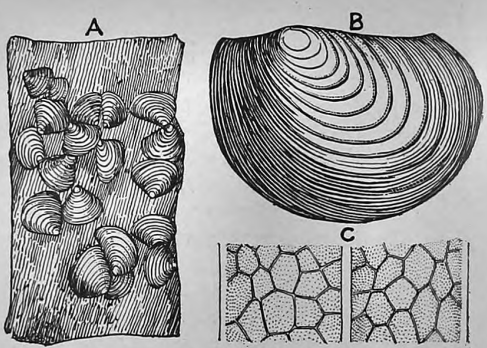
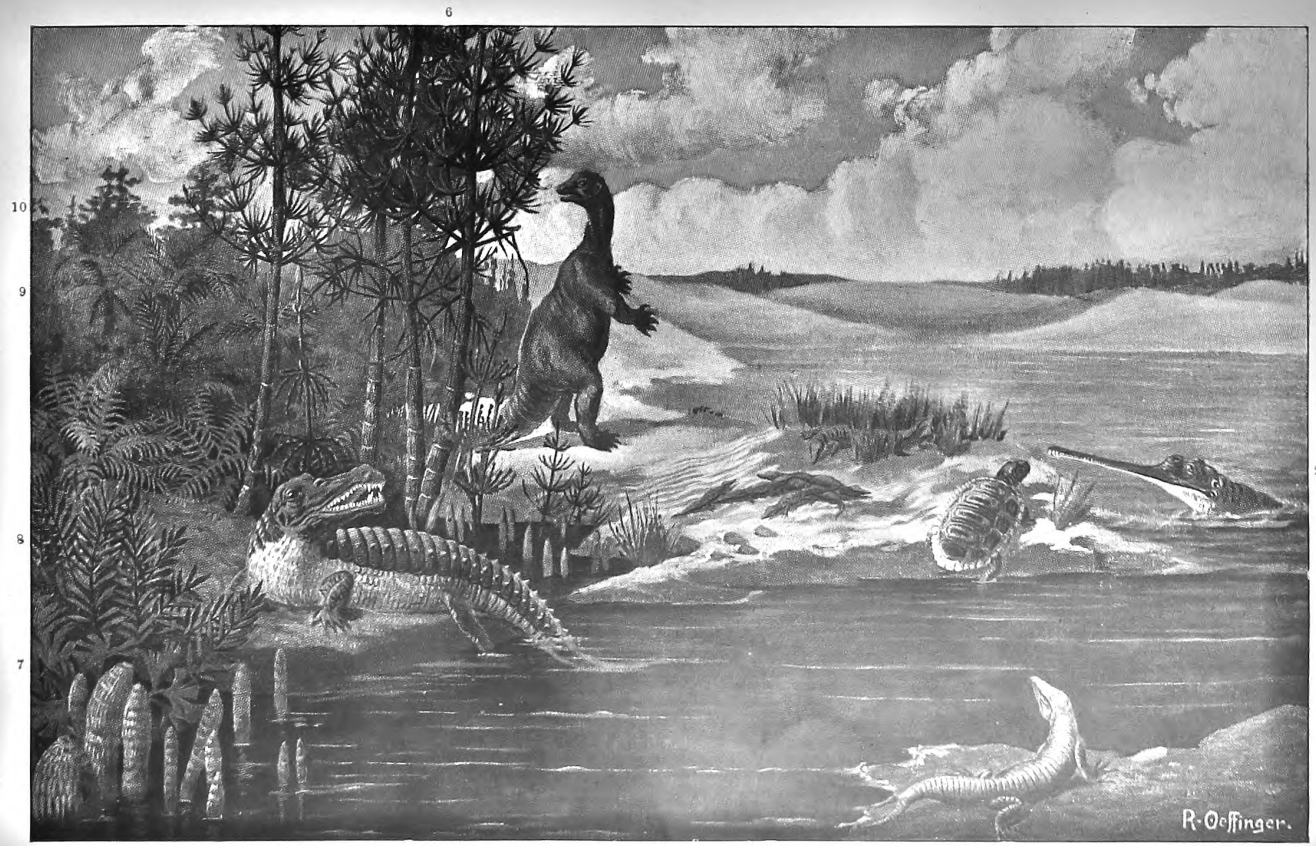


Abb. 40. Estheria minuta.
A natürliche Größe. B stark vergrößert. C Ein Stück der Schalenoberfläche, sehr stark vergrößert.

Vom Apus behauptet der Aberglaube, daß er vom Himmel fällt. Nach starken Regengüssen erscheinen die Tiere zu Tausenden in Bächen oder frisch entstandenen Wassertümpeln. Beim Eintrocknen dieser Wohnplätze verschwinden sie wieder, oft auf Jahre, um zu Zeiten großen Wasserreichtums plötzlich wieder aufzutauchen. Die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung ist keineswegs im Himmel, sondern auf der Erde zu suchen: der Apus legt seine Eier in den Schlamm der Tümpel, wo sie, auch nach völligem Verdunsten des Wassers, jahrelang ihre Entwicklungsfähigkeit bewahren. Ähnlich verhalten sich viele Urtiere, die sich in der Trocknis einkapseln und in diesem Zu-



Schwäbische Landschaft zur Keuperzeit.

1 Belodon. — 2 Mystriosuchus. — 3 Aëtosaurus. — (Krokodilier)
4 Zanclodon. — (Schreckensfaurier)
5 Psammochelys. — (Landschildkröte)
6 Equisetum. — (Schachtelhalm)
7 Chiropteris. — 8 Danaeopsis. — (Farnkräuter)
9 Pterophyllum. — (Cycaspalme)
10 Araucaria. (Nadelholz)

stand unbekannt lange Zeit keimfähig bleiben. Es liegt nahe, den Estherien des Buntsandsteins ähnliche Eigenschaften zuzuschreiben wie dem märchenumwobenen Apus. Wahrscheinlich haben diese Krebse in flachen Seen gelebt, die in der Buntsandsteinwüste vorübergehend in folge gewaltiger Überschwemmungen entstanden. Derartige „Trockenseen" sind in den asiatischen Steppen und Wüsten etwas ganz Gewöhnliches; sie bilden sich hier bei gelegentlichen Wolkenbrüchen und werden von der heißen Wüstensonne meist rasch wieder eingedampft. Für die Buntsandsteingebiete aber wäre auch denkbar, daß zeitweilige, in sehr großen Zwischenräumen eintretende Meeresüberflutungen salzige Binnenseen zurückgelassen hätten, in denen neben Estherien auch Muscheln, Schnecken und Fische zurückblieben und eine Art Gefängnisleben führten, bis die zunehmende Versalzung des Wassers (infolge der Verdunstung) ihnen allen den Garaus machte.

Im jüngsten Abschnitt der Buntsandsteinzeit, dem sogenannten Röt, bestanden zweifellos derartige Verhältnisse. Damals herrschte zwischen dem Wüstenland und der vordringenden See ein heftiger Kampf, in dem bald der eine, bald der andere Teil vorübergehend siegte. Immer wieder schlug das Land den Ansturm des Meeres zurück, breitete sich die Wüste über schon verlorenes Gebiet von neuem aus. In den zahlreichen verdunstenden Salzlachen schlug sich Gips nieder, stellenweise auch Steinsalz. Reste von Meerestieren werden häufiger, selbst ein Ammonit kommt vor, aber im Vergleich mit echten Meeresablagerungen bleibt die Tierwelt des Röt noch recht ärmlich. Auf etwas feuchteres Klima, namentlich in Westdeutschland, deuten pflanzenführende Schichten, die Überreste grüner Oasen am Rande der Buntsandsteinwüste. Riesige Schachtelhalme, Baumfarne, seltsame ausgestorbene Koniferen mit tief gekerbten „Tannenzapfen", als Seltenheit auch ein Siegelbaum, der letzte Nachzügler der einstigen Beherrscher des Steinkohlenwaldes, setzen die deutsche Flora jenes Zeitalters zusammen.

Als schließlich das Meer für längere Zeit die Oberhand gewann, lagerte es an den meisten Stellen über dem Buntsandstein kalkige Schichten ab, die als „Muschelkalk" allbekannt sind. Mannigfache Anzeichen deuten darauf hin, daß das Meer im allgemeinen flach blieb, ja zeitweise in einzelnen Gegenden ganz austrocknete, was den neuerlichen Absatz von Gips- und Steinsalzlagern ermöglichte. Erst gegen Ende der Muschelkalkzeit gewann die See eine etwas größere Tiefe.

Der Name „Muschelkalk" paßt im eigentlichen Sinne nur auf einzelne Schichten („Bänke", sagt der Geologe), in denen die versteinerten Weichtierschalen oft dermaßen angehäuft sind, daß man von der verbindenden Gesteinmasse fast gar nichts mehr sieht. Manchmal gehört die übergroße Mehrzahl der Schalen einer einzigen Art an, so einer Terebratel*) („Lochmuschel") oder einer echten Muschel der Gattungen Lima, Gervillia, Pecten und Myophoria. Andere Bänke enthalten in ungeheuren Massen die Stielglieder einer zierlichen, ausgestorbenen Seelilie, kleine hübsch gezeichnete Scheiben, die sogenannten Bonifaziuspfennige

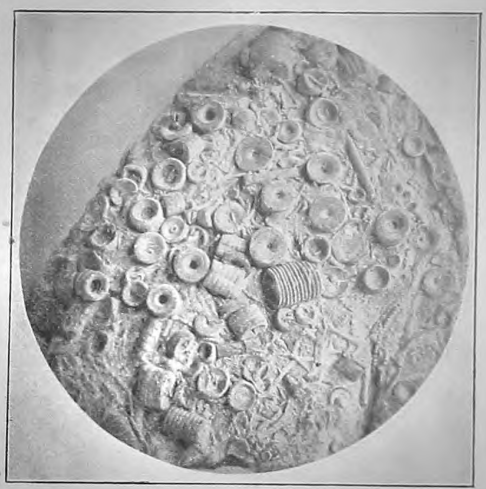


Abb. 41. Trochiten oder Bonifaziuspfennige.

oder Trochiten (Abb. 41). Man hat die Art Encrinus liliiformis genannt. Alle diese Tierkolonien gingen von Zeit zu Zeit zugrunde, wahrscheinlich weil das Meer zu seicht und zu salzig wurde oder ganz austrocknete. Daher wechseln überall mit Schichten einer reichen Tierwelt andere mächtige Felsmassen, in denen Versteinerungen selten oder gar nicht zu finden sind.

Von reicher Tierwelt kann man überhaupt nur im Sinne der Individuenzahl, nicht der Arten und Gattungen sprechen. Das Tierleben des deutschen Muschelkalks ist in ausgesprochener Weise charakteristisch für ein Binnenmeer.

*) Die Terebrateln gehören zu den Armfüßern oder Brachiopoden, über die man unter „Devon" nachlesen möge.

Wie dem heutigen Schwarzen Meer zahlreiche Tierformen des benachbarten Mittelmeers fehlen, so blieb auch die Muschelkalksee hierin weit hinter dem großen Südmeer zurück. Merkwürdigerweise sind es hier wie dort die gleichen Klassen und Gruppen, in denen sich der Unterschied äußert: Korallen, Schwämme, Seeigel, Armfüßer, Kopffüßer. Die erstgenannten drei Gruppen fehlen der deutschen Trias fast gänzlich, während in den Alpen vor allem die Korallen mächtige Riffe erbaut haben. Zu den Armfüßern gehört allerdings das gewöhnlichste Muschelkalkfossil, die oben genannte Terebratel, und auch manche Ammoniten gelten als Leitversteinerungen, namentlich der jüngsten Muschelkalkzeit, als die See verhältnismäßig tief war und mit dem Südmeer in offener Verbindung stand, — aber das will nichts besagen gegen die erstaunliche Formenfülle vor allem der Ammoniten in der „alpinen" Trias. Nach neueren Untersuchungen lebte die Mehrzahl der Ammoniten gesellig auf dem schlammigen Grunde mäßig tiefer Meeresbecken, sie vermied das seichte Wasser in der Nähe der Küsten und zeigte sich, wie der heutige Nautilus, nur selten an der Oberfläche des Meeres. Tiefen von hundert bis zu einigen hundert Metern dürften den meisten Ammoniten am besten zugesagt haben. Indessen gab es auch Gattungen und Arten, die sich leicht an einen Aufenthalt im seichten Wasser gewöhnen konnten. Manche von ihnen wagten sich aus dem Südmeer in die flache deutsche Muschelkalksee

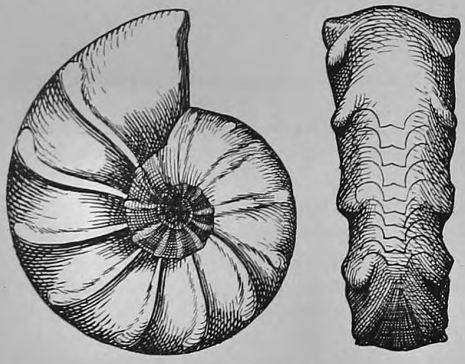


Abb. 42. Ceratites nodosus.
Aus dem deutschen Muschelkalk.

hinein, an der Spitze Ceratites nodosus (Abb. 42), ein breitrückiges Ammonshorn mit kräftigen, in dicke Knoten auslaufenden Rippen. Der Ceratites ist im deutschen Binnenmeer gut gediehen, denn Bruchstücke seiner Gehäuse findet man in Muschelkalkgebieten fast überall auf Feldern, Wegen und steinigen Abhängen verstreut.

Die Eindringlinge aus dem Süden gingen fast durchweg zugrunde, als mit Beginn der Keuperzeit wieder ein Rückzug des Meeres erfolgte, wodurch weite Gebiete, vor allem Mittel- und Südwestdeutschland, in sumpfige Niederungen verwandelt wurden. Die Hauptmasse des deutschen Keupers („Hauptkeuper") besteht aus Ablagerungen, die teils von Flüssen aufgeschüttet, teils in Sümpfen und Salzseen entstanden sein mögen. Es sind dies buntscheckige, oft grellrote oder grüne Tone (Letten), Sandsteine mit Resten von Pflanzen und krokodilähnlichen Flußechsen, ferner Gips- und Steinsalzlager. Echte Meeresablagerungen kommen nur an der unteren und oberen Grenze des Keupers vor, namentlich die letztere zeigt alle Merkmale einer Strandbildung. Ihre Leitversteinerung ist eine kleine, geflügelte Muschel, Avicula contorta, das gekrümmte Vöglein (Abb. 43), zur gleichen Gattung gehörend wie die hochgeschätzte Perlmuschel des Indischen Ozeans. Überall, wo sich die eigentümlich gewundenen Schälchen finden, in Deutschland wie im Alpengebiet, bezeichnen sie den Übergang von der Trias zum Jura, sie wurden mitgeführt von der neuerdings vordringenden See, aber diesmal war es kein flaches Binnenmeer, sondern der Ozean selbst, der fast ganz Mitteleuropa Schritt für Schritt eroberte und sich dort eine Reihe von Jahrmillionen behauptete.

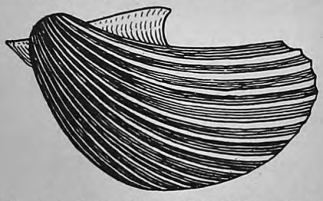


Abb. 43. Avicula contorta. Leitfossil der sogenannten rhätischen Schichten (obere Keuperstufe).

Von Eigentümlichkeiten des deutschen Keupers sei noch folgendes erwähnt:

Zunächst die Bildung von Steinkohlen. In den sumpfigen Niederungen an den Ufern der zahlreichen kleinen Seen wucherten Pflanzendickichte, deren Moder sich in kleinen Kohlenflözen anhäufte. Indessen lohnt diese „Lettenkohle" höchst selten den Abbau, die Lager sind zu unbedeutend, meist auch zu stark durch Ton und Sand verunreinigt. Interessant ist der Pflanzenbestand, insofern sich in ihm gegenüber der Buntsandsteinzeit ein deutlicher Fortschritt

kundgibt. Die Schachtelhalme und Farne beginnen vor den sich mächtig entwickelnden Zykadeen zurückweichen; damit geht die bisherige Alleinherrschaft der Sporenpflanzen (Kryptogamen) und Blütenpflanzen (Phanerogamen) zu Ende, wenn auch zunächst bis zur Kreidezeit nur nacktsamige Blütenpflanzen (Gymnospermen) an ihre Stelle treten. Die Zykadeen der Keuperzeit zeigen eine überraschende Formenfülle. Neben heute ganz ausgestorbenen Gruppen finden sich auch Angehörige der lebenden Zapfenpalme (Zamia) und des Sagobaums (Cycas). Das Landschaftsbild der Zykadeenwälder muß sehr eigenartig gewesen sein: kurze, dicke, wenig oder gar nicht verzweigte Stämme, die sich oben zu einer breiten Krone prachtvoller Palmwedel entfalten (vgl. Abb. 44).

Mit den herrschenden Tiergestalten des süddeutschen Keupers macht uns die in Farbendruck ausgeführte Landschaft bekannt. Ein Binnensee liegt vor uns, umgeben von mächtigen Dünenwällen. Wälder von Araukarien bedecken das Land, an feuchten Stellen gedeihen auch baumhohe Schachtelhalme, Pterophyllen (palmartige Zykadeen) und mannigfache Farnkräuter. Unter den Tieren fällt uns sofort die abenteuerliche, drohend aufgerichtete Gestalt des Zanklodons oder Schreckensauriers sofort ins Auge. Es ist dies ein Verwandter des Compsognathus, den wir von der Juralandschaft her kennen, nur ungleich gewaltiger; messen doch die längsten Exemplare vom Schwanzende bis zum Kopf gut sieben Meter! Merkwürdigerweise fehlt allen bislang gefundenen Exemplaren der Schädel, doch ist aus einigen schlecht erhaltenen Bruchstücken zu schließen, daß der Kopf im Verhältnis zum übrigen Körper recht klein war. Das mit gewaltigen Krallen bewehrte Ungeheuer war zweifellos ein gefährlicher Räuber, dem kein anderes Landtier jener Zeit standhalten konnte.

Die Herrschaft zu Wasser lag damals bei krokodilähnlichen Sauriern, die sich durch mancherlei Merkmale von den echten, zuerst in der Jurazeit auftretenden Krokodilen unterschieden.

So münden bei diesen die äußeren Nasenlöcher in einem gemeinsamen Ausgang an der Schnauzenspitze, und die inneren Nasenöffnungen (Choanen) liegen weit hinten, am Ende des oft stark verlängerten Gaumens. Bei den Krokodilen der Keuperzeit dagegen waren die äußeren Nasenlöcher voneinander getrennt und lagen weit zurück, in der Nähe der Augen, während die Choanen stark nach vorn gerückt

Abb. 44. Landschaft mit Sagobäumen.

waren. Dazu kommen noch andere, den Knochenbau betreffende Unterschiede. Trotzdem werden die Keuperkrokodile in der Gesamterscheinung den heutigen ähnlich gewesen sein. Belodon (auf der Landschaft links) glich einem Nilkrokodil, Mystriosuchus (rechts) erinnert mit seiner stark verlängerten Schnauze an den im Ganges lebenden Gavial.

Zur Gruppe der Krokodile im weiteren Sinne rechnet man auch den zierlichen, nur etwa 60 Zentimeter langen Aëtosaurus oder Neckarsaurier (rechts im Vordergrund). Bei ihm mündeten die äußeren Nasenlöcher ebenfalls getrennt, lagen aber an der Schnauzen-

spitze. Charakteristisch für das Tier ist ferner der spitze, dreieckige Kopf und die prächtige, Rücken und Bauch lückenlos deckende Panzerung. Im sogenannten Stubensandstein bei Stuttgart fanden sich auf einer Platte 24 vollständige Skelette des Aëtosaurus, dieser ungemein reiche Fund ist jedoch bislang der einzige geblieben.

Als letzte Merkwürdigkeit ist die Landschildkröte Psammochelys zu erwähnen, der älteste, aus der Erdgeschichte bekannte Vertreter der Schildkröten.

Wie im Pflanzenreich, so scheint sich auch in der Entwicklung der Tierwelt während der Keuperzeit eine bedeutsame Wendung vollzogen zu haben. Aus dem oberen Keuper Württembergs und Englands stammen die ältesten, bis jetzt bekannten, leider sehr unvollständigen Säugetierreste: winzige Höckerzähne, die vielleicht von Beuteltieren herrühren, indessen allen heute lebenden Formen so unähnlich sind,

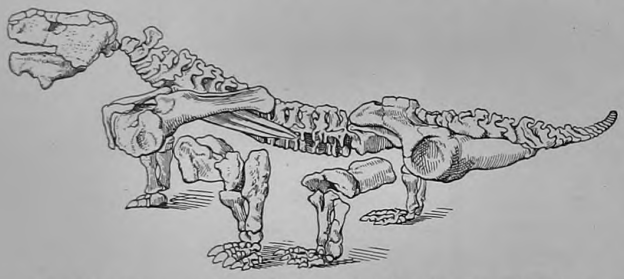


Abb. 45. Pareiosaurus Baini. Aus der südafrikanischen Karruformation.

daß man sie zu einer besonderen Ordnung (Allotheria, „andere Tiere") zusammengefaßt hat. Manche Forscher halten sie den Schnabeltieren für näher verwandt als den Beutlern, andere wollen sie gar den Reptilien zurechnen. Dieser Streit könnte erst entschieden werden, wenn sich einmal gut erhaltene Reste des übrigen Skeletts fänden, — vielleicht aber nicht einmal dann, vielleicht gehörten die Höckerzähnchen aus dem „Knochenbett" des schwäbischen Keupers wirklichen Zwischenformen an, Vermittlern zwischen Schnabeltieren und Beutlern. Nach einer anderen Richtung weist eine merkwürdige, aus der „Karruformation" Südafrikas bekannt gewordene Tiergruppe. Die Forschung befindet sich hier in glücklicherer Lage; Schädel und Teile der Wirbelsäule, von einer Gattung sogar ein fast vollständiges Skelett, stehen zur Verfügung. Es hat sich nun herausgestellt, daß diese Reste einer hochentwickelten Reptiliengruppe mit säugerähnlichen Merkmalen angehören, — ja, einzelne Gattungen können mit Fug und Recht sowohl der einen wie der anderen Klasse zugerechnet werden.

Die „Karruformation" Südafrikas ist eine mächtige Schichtenfolge, die vom Kapland bis nach Deutsch-Ostafrika reicht und sich zeitlich über drei geologische Perioden, Perm, Trias und Lias, erstreckt. Aus ihrer Mitte, aus Ablagerungen, die unserem Buntsandstein ähnlich sind, stammt jene sonderbare Tiergesellschaft. Vermutlich war zu jener Zeit auch Südafrika zum großen Teil eine Sandwüste, doch mit ausgedehnten, von Farnsträuchern und Riesenschachtelhalmen bestandenen Oasen, die eine reiche Tierwelt beherbergten. Ein ganz seltsamer Geselle war der Pareiosaurus (Abb. 45), von langgestreckter, aber ungemein plumper Gestalt, die Beine kurz und dick, die Füße breit, fünfzehig, im Knochenbau die Merkmale gewisser Amphibien und Säugetiere vereinigend. Man hat ihn merkwürdigerweise auch im nördlichen Rußland, dagegen bis jetzt nicht in den zwischenliegenden Gebieten gefunden. Leider ist er die einzige Form, von der ein vollständiges Skelett vorliegt. Weit mehr nähern sich den Säugern einige andere Südafrikaner, von denen aber nur Schädel bekannt sind. Sie besitzen etwas für Reptilien Unerhörtes — ein deutliches, in Schneide-, Eck- und Backenzähne geschiedenes Raubtiergebiß. Mächtig ragt der stark entwickelte Eckzahn vor und trennt die Schneide- von den Backenzähnen. Damit treten diese uralten Raubtiere aus dem Kreise der Echsen hinaus und bewegen sich in gerader Linie auf den Säugetierstamm zu. Wegen ihres durchaus säugetierartigen Gebisses hat man sie „Theriodontier" benannt.

Leider ist die weitere Entwicklung dieser interessanten Gruppe uns zurzeit noch unbekannt. Die großen Formen verschwinden anscheinend mit dem Ende der Trias, ohne Nachkommen zu hinterlassen. Doch lebten damals in Südafrika auch kleine, etwa kaninchengroße Theriodontier, die schon von echten Beuteltieren kaum zu unterscheiden sind. Vielleicht stellen sie das Bindeglied dar, das von den Echsen über mannigfach entwickelte Beutler der Jura- und Kreidezeit hinüberführt zu der Säugetiergesellschaft, die wir aus den alttertiären Schichten von Cernays bei Reims früher kennen gelernt haben.

Ehe wir weiter rückwärts wandern, ist eine kurze Rast geboten. Die drei Zeitalter, deren Entwicklung wir zuletzt an uns vorüberziehen ließen, Trias, Jura, Kreide, weisen eine Reihe gemeinsamer Züge auf, die sie vom Tertiär wie von den älteren Perioden der Erdgeschichte trennen. Sie bilden in ihrer Gesamtheit das „Mittelalter" der Erde oder das „mesozoische" Weltalter, eine Bezeichnung, die andeuten soll, daß sich die Lebewelt damals auf einer mittleren Entwicklungsstufe befand. In dieser Hinsicht ist namentlich die Grenze gegen die Tertiärzeit sehr scharf. Die riesenhaften Land- und Meerechsen, die seltsamen Flugsaurier, die unendliche Formenfülle der Ammoniten, blühende, in Jura und Kreide massenhaft verbreitete Muscheln (z. B. die Rudisten) verschwinden an der Wende des Mittelalters von der Weltbühne; in tertiären Schichten ist keine Spur mehr von ihnen. An ihre Stelle treten neue, höherstehende Formen, vor allem nimmt die Klasse der Säugetiere einen vormals ungeahnten Aufschwung. Dieser jähe Wechsel der herrschenden Tierformen hat ohne Zweifel viel von einer Katastrophe an sich, deren Ursachen zu ergründen bislang nicht gelungen ist. Wie verhält es sich nun mit der anderen Grenze des geologischen Mittelalters? Hat hier die Entwicklung einen ebenso dicken Strich unter ihre bisherige Schöpfung gezogen?

Der Trias geht eine Periode vorher, die man „Perm" nennt, nach dem russischen Gouvernement Perm, wo die Formation in besonderer Mächtigkeit entwickelt ist. Sie ist die letzte und jüngste von im ganzen fünf sehr langen Perioden der Erdgeschichte, die man als „Altertum" oder „paläozoisches" Weltalter zusammenfaßt. Die Permschichten sind in den meisten Ländern von den triadischen äußerlich scharf getrennt, aber von einem überraschend plötzlichen Aussterben mächtiger und blühender Tiergeschlechter ist an diesem Wendepunkte der Erdgeschichte keine Rede. Im Gegenteil, die Entwicklung schreitet vom Perm zur Trias ganz allmählich, ohne bedeutende Störung fort. Die Reptilien waren im Perm noch nicht so mannigfaltig ausgebildet; dasselbe gilt von den Ammoniten, unter denen altertümliche Formen vorherrschen; unter den Weichtieren spielen die Armfüßer (Brachiopoden) noch die erste Rolle, während sie von der Trias an hinter den Muscheln und Schnecken zurücktreten, — aber das sind doch alles mehr nebensächliche Unterschiede, die keineswegs auf einen folgenschweren Umschwung der Lebensbedingungen hinweisen. Völlig verwischt erscheint die Grenze, wenn man die Entwicklung der Pflanzenwelt verfolgt. Die Flora des jüngeren Perms glich durchaus der des Buntsandsteins, während im älteren noch manche aus den Steinkohlenwäldern stammende Pflanzen vorhanden waren.

Es fragt sich nun, wie kommt die Geologie dazu, gerade hier das Mittelalter der Erde beginnen zu lassen? Man kann nicht leugnen, daß die Grenze etwas willkürlich gewählt, und das Perm vielmehr eine Übergangszeit zwischen Altertum und Mittelalter ist. Durchgreifende Unterschiede wird man erst finden, wenn man die beiden Weltalter im ganzen miteinander vergleicht. Da stellt sich vor allem heraus, daß die Wirbeltiere, der höchstentwickelte Stamm des Tierreichs, im paläozoischen Weltalter hinter den niederen Tierformen zurückstanden. Aus der ältesten Periode kennt man sie überhaupt nicht; später beleben sich die Meere mit Fischen, aber Amphibien und Reptilien gelangen erst in der Permzeit zu einiger Bedeutung. Säugetiere und Vögel fehlen, wie früher erwähnt, dem Altertum der Erde gänzlich. Das tierische Leben spielte sich damals vorwiegend im Meere ab. Vierstrahlige Korallen, Armfüßer, Seelilien und andere heute völlig ausgestorbene Gruppen der Haarsterne, Kopffüßer aus der Verwandtschaft unseres Perlboots (Nautilus), endlich die seltsamen Dreilappkrebse (Trilobiten) bedingen den Charakter jener urzeitlichen Tierwelt. Im Pflanzenreich herrschen riesige Gefäßkryptogamen, die Farnbäume, Riesenschachtelhalme, Schuppen- und Siegelbäume der Steinkohlenwälder, auch sie erst ein Erzeugnis der späteren paläozoischen Zeit, aus deren Anfängen noch gar keine Landpflanzen, nur Meeresalgen bekannt sind.

Fragt man nach dem Ende der paläozoischen Lebewelt, so ist zu betonen, daß viele Tier- und Pflanzengruppen allmählich aussterben. Dies gilt von den vierstrahligen Korallen, an deren Stelle die noch heute herrschenden sechsstrahligen treten, von den Urkrebsen und Panzerfischen, von einigen Gruppen der Stachelhäuter, endlich von den Bärlappbäumen der Steinkohlenwälder. Manche Sippen erlöschen schon geraume Zeit vor dem Ende des Altertums, andere retten sich in spärlichen Vertretern hinüber ins Mittelalter der Erde, alle aber zeigen im Gegensatz zu der plötzlichen Vernichtung der Riesenechsen, Ammoniten, Rudisten usw. ein ganz sanftes Ausklingen. Noch glimpflicher ging es einer

weiteren Reihe von Tierformen, wie den Armfüßern, Seelilien und der Perlbootsippe; sie treten zwar seit Beginn des Mittelalters mehr in den Hintergrund, gedeihen aber doch in mannigfaltiger Entwicklung fort und scheinen erst in der Jetztzeit sich dem Ende ihrer Laufbahn zu nähern.

Alles in allem: die Unterschiede zwischen der paläozoischen und der mesozoischen Lebewelt sind recht bedeutend. Im Altertum Herrschaft der Fische und der wirbellosen Tiere, das feste Land zuerst nackt und öde, später bedeckt von riesenhaften Gefäßkryptogamen, — im Mittelalter Herrschaft der Echsen zu Lande wie zu Wasser, Wälder von Koniferen und palmenähnlichen Sagobäumen, später auch von Laubgewächsen, dazu ein erstes zaghaftes Auftreten der Säugetiere und Vögel, — das sind trennende Merkmale von genügender Bedeutung, um die Scheidung der beiden Weltalter vollauf zu rechtfertigen.

Bei unserer Umschau haben wir bislang nur die organische Welt betrachtet, doch zeigt sich die Eigenart des Mittelalters der Erde vielleicht noch auffälliger im Verhalten der leblosen Natur. Im Gegensatz zur Tertiärperiode, die man Revolutionszeitalter nennen kann, war das Mittelalter ausgezeichnet durch merkwürdig lange Tatenlosigkeit der unterirdischen Gewalten. Gebirgsbildung und Vulkanismus, die im Lauf der Erdgeschichte mehrfach dem Antlitz unseres Planeten ganz veränderte Züge aufprägten, verhielten sich während langer Zeiträume auffällig still. Bleiben wir zunächst bei der Alten Welt, wo diese Erscheinung am deutlichsten hervortritt. Die Festländer Europas und seiner Nachbargebiete müssen während der mesozoischen Zeit größtenteils flache Niederungen und welliges Hügelland gewesen sein. Die alten Hochgebirgsketten der Steinkohlenzeit waren wohl schon in der Trias so weit abgetragen, daß sie nur noch Mittelgebirgen, etwa vom Charakter des Schwarzwalds, glichen; später wurden sie immer mehr abgehobelt und zerstört, versanken zum Teil sogar unter das Meer. Die mächtigen Überflutungen ganzer Erdteile in der jüngeren Jura- und Kreidezeit waren nur möglich, wenn das Hauptgebiet der damaligen Kontinente den Meeresspiegel nur wenig überragte. Auch von vulkanischen Ausbrüchen hören wir fast gar nichts. In Südtirol und Schottland gab es vulkanische Herde, aber ihre Wirksamkeit blieb auf einen verhältnismäßig kleinen Raum beschränkt. Sonach war die Hauptmasse des Landes der ebnenden, alles gleichmachenden Tätigkeit der Gewässer überlassen.

Mit Gebirgsbildung und Vulkanismus haben die langsamen, erst nach Jahrhunderten merklich werdenden Hebungen und Senkungen der Kontinente wahrscheinlich gar nichts zu tun. Sie machen sich in der Gegenwart ebenso bemerkbar (wir kommen darauf später zurück) wie in der fernsten geologischen Vergangenheit und dauerten auch während des gesamten Mittelalters der Erde fort. Der mehrfache Wechsel von Land und Meer auf deutschem Boden zur Triaszeit dürfte durch solche Erdbewegungen eine Erklärung finden.

In Amerika war die Ruhe des Erdinnern nicht so vollkommen wie in der Alten Welt. Die Auftürmung der Sierra Nevada in Kalifornien soll während der Jurazeit erfolgt sein, begleitet von gewaltigen Granitdurchbrüchen. Sicher ist, daß um die Mitte der Kreidezeit das mexikanische Gebirgsland seine Hauptfaltung erlitt, während im Tertiär dort nur nachträgliche, unbedeutende Gebirgsbewegungen stattfanden. In schroffem Gegensatz zu europäischen Verhältnissen stehen ferner die kolossalen vulkanischen Ausbrüche in der Trias von Britisch-Kolumbien, etwa $^9/_{10}$ dieser rund 4000 Meter mächtigen Formation werden aus übereinander geschichteten Lavaströmen und Tuffdecken aufgebaut. Auch der Buntsandstein des Staates New York ist reich an Durchbrüchen von Feuergesteinen. Am berühmtesten sind die „Palisaden" des Hudsonflusses, großartige, aus senkrechten Dioritpfeilern*) aufgebaute Felswände, an deren Fuß entlang sich der Strom windet. Sie bilden die freigelegte Fassade eines mächtigen, im Buntsandstein versteckten Lavastroms. Ähnlichen Lavafelsen verdankt auch das Connecticut-Tal einen großen Teil seiner romantischen Schönheit. Die Trias war also in der neuen Welt noch eine recht unruhige Periode, erst gegen den Beginn der Jurazeit schränkten die großen vulkanischen Herde ihre Tätigkeit stark ein, und der nun folgende Teil des geologischen Mittelalters verlief in Nordamerika annähernd ebenso ruhig wie bei uns.

*) Diorit ist ein dem Granit nahestehendes Feuergestein.

Karbon und Perm.

Von der Permzeit läßt sich die vorhergehende Periode, die Steinkohlen- oder Karbonzeit, nur unvollkommen trennen. Beide sind ausgezeichnet durch ungemein lebhafte Tätigkeit der Kräfte des Erdinnern, sie bilden zusammen ein Revolutionszeitalter der Erdgeschichte, das an Großartigkeit der Ereignisse sich mit der Tertiärzeit messen kann. Noch schwerer fällt der Umstand ins Gewicht, daß beide eine fast übereinstimmende Tierwelt besitzen, endlich, daß in Rußland und anderen Gebieten die Schichten der Steinkohlenzeit ganz unmerklich in die permischen übergehen; sie bilden eine einheitliche Gruppe, die man „Permo-Karbon" genannt hat. Wenn trotzdem die Mehrzahl der Geologen an der Zeiteinteilung festhält, so scheint uns der einzig zureichende Grund in den völlig verschiedenen klimatischen Verhältnissen der beiden Perioden zu liegen.

Die Steinkohlenzeit birgt für den Geologen eine Fülle schwer lösbarer Rätsel. Verhältnisse treten ihm entgegen, so fremdartig und verwirrend, daß er sich oft nur schwer zurechtfindet, bisweilen auf eine Erklärung des Beobachteten überhaupt verzichtet. Wundernehmen kann das eigentlich nicht, wenn man bedenkt, in welch nebelhafter Ferne jene Urzeit liegt. Nehmen wir eine sehr niedrige Schätzung: 12 bis 15 Millionen Jahre seit dem Beginn der Kohlenperiode bis auf heute, so ist das für den menschlichen Zeitbegriff schon eine fast unvorstellbare Größe. Und doch liegt die wirkliche Urzeit, der Anfang des organischen Lebens, mindestens noch dreimal so weit zurück! Nimmt man die Erdgeschichte als Ganzes, so bedeutet in ihr die Steinkohlenzeit schon eine jüngere, ziemlich weit vorgeschrittene Entwicklungsstufe.

Eine Frage drängt sich vor allem auf: Warum entstanden gerade damals so mächtige, in mindestens drei Erdteilen weitverbreitete Steinkohlenlager? Man kennt ja Steinkohle auch aus anderen Formationen, aus dem Lias (S. 32) und Keuper (S. 42), aber solches Vorkommen verschwindet gegenüber den vorerst noch unerschöpflichen Schätzen an „schwarzen Diamanten", die der Boden Großbritanniens, Belgiens und Westdeutschlands liefert. Und dies sind noch lange nicht die reichsten Kohlenländer der Erde. In den Vereinigten Staaten Nordamerikas unterscheidet man sechs Hauptkohlenfelder; davon bedeckt das große „appalachische" rund 2400, das westlich davon gelegene Missouri-Kohlengebiet rund 3000 Quadratmeilen. Auch in China sind nach den Forschungen des berühmten Geographen Freiherrn von Richthofen ganz gewaltige Kohlenschätze vorhanden, die an Ergiebigkeit die amerikanischen noch übertreffen sollen. So ist fast die ganze Provinz Schansi ein einziges Anthrazitfeld, das einen Flächenraum etwa von der halben Größe Preußens einnimmt. Wohlverstanden: nur Anthrazit von ganz vortrefflicher Güte. Die ungeheuren Massen gewöhnlicher Kohle in Chinas Boden entziehen sich vorläufig noch jeder sicheren Schätzung.

Wie entstanden nun diese für unsere moderne Kultur so überaus wichtigen Brennstofflager, die nichts anderes sind als Massen halbvermoderter, später versteinerter Pflanzenstoffe? Eine staunenswerte Üppigkeit der Vegetation wird man voraussetzen müssen, ebenso ein feuchtes, nur mäßig warmes Klima; denn in einem wirklich heißen würden die Pflanzen rasch vollständig verwest sein, ohne daß es zur Verkohlung gekommen wäre. Auch ist anzunehmen, daß die Luft damals mehr Kohlensäure, die „Lebensluft" der Pflanzenwelt, enthielt als heutzutage; doch darf man deren Betrag nicht zu hoch einschätzen, wie aus folgender Überlegung hervorgeht.

Wasser kann, wie jedermann weiß, bedeutende Mengen Kohlensäure in sich aufnehmen, „absorbieren". So kommt es, daß die weiten Flächen der Ozeane den Kohlensäuregehalt der Luft bis zu einem gewissen Grade regeln. Wäre in der Steinkohlenzeit die Atmosphäre sehr kohlensäurereich gewesen, so hätte auch das Meer beträchtliche Mengen dieses Gases aufsaugen müssen. Nun löst kohlensäurereiches Wasser mit Leichtigkeit Kalk auf, daher können sich in solchem Wasser keine Kalkabsätze bilden. Gerade in der Karbonzeit aber entstanden jene mächtigen, in allen Erdteilen verbreiteten Kalkschichten, die man als „Kohlenkalk" bezeichnet. Hierin liegt nach Neumayer ein entscheidender Beweis gegen den von manchen Geologen vermuteten hohen Kohlensäuregehalt der Lufthülle zur Steinkohlenzeit.

Ebenso schwach steht es mit der Annahme, die Atmosphäre sei damals weit „dichter" gewesen als in den späteren Perioden, beständig erfüllt von dichten Nebeln und Wolken, denen in kurzen Pausen ergiebige Platzregen entströmten. Nur ausnahmsweise habe einmal ein kurzer Sonnenblick über den in schwerem Dunst

und Brodem liegenden Steinkohlenwäldern geleuchtet. So anschaulich diese Vorstellung auch erscheint, ist sie doch durch nichts begründet. Nur ein feuchtwarmes Klima, eine Art Treibhausluft, dürfen wir jenem Zeitalter zuschreiben und, was die Hauptsache ist, sehr geringe Unterschiede der Jahreszeiten wie der geographischen Klimazonen. Auf diesen sehr wichtigen Punkt kommen wir weiter unten zurück.

Die meisten Steinkohlenlager, namentlich alle weit ausgedehnten und mächtigen, denkt man sich heute in niedrigen, sumpfigen Küsten-

Abb. 46. Aufrechte Farnstämme in Steinkohlenschichten.

strichen entstanden, wo eine üppige Pflanzenwelt in ausgedehnten Waldmooren und Dschungeln emporwucherte. Das wären ähnliche Verhältnisse, wie wir sie früher für die Braunkohlenbildungen der Tertiärzeit voraussetzten; dort wurde auch schon auf die Zypressensümpfe der südlichen Unionstaaten hingewiesen, aus denen vielleicht nach Hunderttausenden von Jahren ebenfalls Kohlenflöze hervorgehen werden. Gegen diese Theorie der „Bodenständigkeit" (Autochthonie) der Kohlenlager hat man mancherlei eingewendet, unter anderem, daß selbst der üppigste tropische Urwald bei seiner Verkohlung nur eine wenige Zentimeter dicke Schicht liefern würde, während doch die einzelnen Flöze der Karbon- und Tertiärzeit sehr häufig eine durchschnittliche Mächtigkeit von mehreren Metern erlangten. Den naheliegenden Ausweg, daß ja viele Jahrtausende hindurch auf den untergegangenen, vermoderten Wäldern immer wieder neue emporwachsen konnten, hat man gleichfalls für unmöglich erklärt, weil die allmählich entstandenen, haushohen Lagen vermoderter Pflanzenstoffe keinen geeigneten Nährboden mehr für die späteren Wälder abgeben könnten; die für das Pflanzenleben notwendigen Mineralsalze müßten längst verbraucht worden sein. Aber gerade in Urwäldern beobachtet man vielfach ein solches Fortwuchern, ein ewig neues Wachsen und Grünen auf den zerfallenen Resten vergangener Pflanzengeschlechter. Aus den am Boden liegenden erst halbverfaulten Stämmen sproßt die neue Generation hervor; im Moder selbst finden die jungen Bäumchen genügende Nahrung, um zu stattlicher Höhe emporzuwachsen. Dies ist natürlich nur möglich, wenn durch eine Art Kreislauf die mineralischen Nährstoffe immer wieder in den Waldboden zurückgelangen.

Auch mancherlei positive Gründe lassen sich zugunsten der Bodenständigkeit anführen. Da sind zunächst die aufrechtstehenden, manchmal noch mit ihrem Wurzelwerk versehenen Stämme, die in gewissen Kohlenschichten massenhaft vorkommen (Abb. 46). Man hat den Eindruck, als seien an solchen Stellen ganze noch grünende Wälder im Schlamm versunken. Indessen liegt in der aufrechten Stellung der Bäume doch kein entscheidender Beweis für ihr Wachstum an Ort und Stelle; denn die Stämme könnten ja auch, von dem schweren, mit Erde und Steinen belasteten Wurzelwerk nach unten gezogen, aufrecht fortgeschwommen und später in dieser Stellung untergegangen sein. Sehr wahrscheinlich ist das allerdings nicht, zumal wir einen anderen, vollgültigen Beweis für die Bodenständigkeit besitzen, wenigstens bei einem Teil der Steinkohlenlager.

Unter den eigentlichen Flözen liegen gewöhnlich tonige Schichten, und diese sind oft von Wurzelstöcken und Wurzelfasern der Pflanzen durchwuchert, deren Stämme, Zweige und Blätter man unmittelbar darüber in dem Kohlenflöz findet. Ja, an den Wurzelstöcken (Stigmarien) haften noch oft, wie zu Lebzeiten der Bäume, zarte, häutige, nach allen Richtungen ausstrahlende Anhänge, die zweifellos die Nahrungszufuhr vermittelten. Wären nun die Wurzelstöcke nicht an Ort und Stelle gewachsen, sondern entfernt von ihrem Ursprung

zusammengeschwemmt, so müßten unfehlbar die Wurzelanhänge beim Herausheben aus dem Mutterboden in sich zusammengefallen sein, und keine Kraft hätte sie in die ursprüngliche, senkrecht vom Stock abstehende Lage zurückbringen können. So scheint es zweifellos, daß wir in jenen Tonschichten wirklichen alten Waldboden der Steinkohlenzeit vor uns haben.

Hier bietet sich wieder eine Gelegenheit, auf die außerordentliche Länge der geologischen Zeitalter aufmerksam zu machen. Bei Kattowitz in Schlesien wurden 27, an der Westküste Neuschottlands nicht weniger als 76 übereinander folgende Wurzelschichten beobachtet, deren jede von einer Kohlenlage bedeckt ist. Das heißt mit anderen Worten: 76 mal ist an der gleichen Stelle der Wald emporgewachsen und wieder dahingesunken, und zwar allein in der zweiten Hälfte der Karbonzeit! Aber wie ging es zu, daß der alte Sumpfwald so häufiger Vernichtung anheimfiel?

In den meisten Steinkohlengebieten sind die einzelnen Flöze und pflanzenführenden Schichten durch oft mächtige Zwischenlagen von Geröll, Sandstein und Schieferton getrennt. Diesen vielfältigen Wechsel kann man kaum anders als durch große Überschwemmungen erklären, die zeitweilig den Waldboden mit Kies, Sand und Schlamm oft meterhoch überschütteten und das Absterben des Waldes herbeiführten. War wieder Ruhe eingetreten, so bedeckte sich der angeschwemmte Grund mit frischem Grün, allmählich wuchs ein neuer „Steinkohlenwald" empor und gedieh viele Generationen hindurch ungestört, bis eine abermalige Wasserkatastrophe seinem Leben ein Ziel setzte. Woher die Fluten kamen? In vielen Fällen wohl aus dem Inlande; — von den neu entstandenen Hochgebirgen oder anderen hochgelegenen Landschaften ergossen sich mächtige Ströme über das Steinkohlentiefland; häufig mögen sie ihr Bett verändert, ganze Wälder in ihren Fluten begraben und mit sich fortgerissen haben. Aber da ein großer Teil der Kohlenmoore in der Nähe der Küste lag, konnte auch das Meer gelegentlich in das Sumpfgebiet einbrechen, entweder vorübergehend bei gewaltigen Sturmfluten oder für längere Zeit, wenn nämlich das Küstenland sich andauernd senkte, oder das Meer seinen Stand erhöhte (gerade für die Karbonzeit ist letzteres nicht unwahrscheinlich). Zog sich die See wieder zurück, so mußte sie Ablagerungen mit Resten von Schaltieren, Fischen usw. hinterlassen, und in der Tat findet man im Steinkohlengebiet Englands, Belgiens und Oberschlesiens nicht selten solche vom Meer herrührende Zwischenschichten.

Soeben wurde bemerkt, daß die angeschwollenen Ströme der Karbonzeit mitunter ganze Wälder fortgeschwemmt haben mögen. Es ist dies keine bloße Mutmaßung, vielmehr lassen sich manche kleinere Steinkohlenflöze kaum anders denn als zugeschwemmte Pflanzenmassen deuten. Wo ganze Stämme fehlen oder selten sind, wo hohle, plattgedrückte Rinden vorkommen, deren Holzausfüllung verschwunden ist, wo allerhand Pflanzen und Pflanzenfetzen zu einem bunten Durcheinander gemengt sind, hauptsächlich aber, wo ein und dasselbe Flöz an verschiedenen Stellen sehr ungleiche Dicke zeigt, sich spaltet und stellenweise ganz aussetzt, wird man auf Ablagerung der Pflanzenmassen fern von ihrem ursprünglichen Standort schließen. Wahrscheinlich geschah dies nach Art einer Deltabildung. Ströme, die außer Stämmen, Ästen und Blättern auch große Mengen von Kies, Sand und Schlamm mit sich führten, setzten dieses ganze schwimmende Material ab, sobald sie in größere Binnenseen oder ruhige Meeresbuchten mündeten. Dabei entstand ein Schuttkegel, der sich naturgemäß immer weiter vorschob, so daß unter günstigen Umständen auch auf diese Weise ziemlich ausgedehnte Lager von Pflanzenschutt, die späteren Steinkohlenflöze, zustande kommen konnten.

Ein Mensch, der durch Zauberspuk in den alten Steinkohlenwald zurückversetzt würde, stände, selbst wenn er alle Vegetationsgebiete der heutigen Erde gesehen hätte, vor einer Fülle fremdartiger und rätselhafter Erscheinungen. Die meisten Pflanzen würde er, selbst bei genauerem Studium, im System unserer heutigen Pflanzen nur schwierig unterbringen. Am leichtesten ginge es noch mit den Riesenschachtelhalmen (Kalamiten), deren schlanke, kannelierten Säulen gleichende Stämme zum Hauptbestand der karbonischen Waldmoore gehörten. Noch heute gedeihen im tropischen Südamerika Dickichte gigantischer Schachtelhalme, die wohl an Höhe, nicht aber an Stärke des Stammes ihren karbonischen Vorfahren gleichkommen. Denn dies waren wirkliche Bäume, mit stark entwickelten, bis zu einem Meter dicken Holzstämmen, die freilich im Gestein meist so zusammengedrückt sind, daß sie versteinerten Brettern gleichen. Manche Steinkohlenflöze bestehen fast ausschließlich aus den verkohlten Stämmen und Zweigen der Kalamiten.

Etwas größere Schwierigkeit würde unser

Beobachter mit den Farnbäumen haben. So würde er gewisse Sträucher und Bäume mit riesigen, bis zu drei Meter langen Wedeln nennen, deren äußere Erscheinung an die Palmfarne der Tropen gemahnt. Aber alle heutigen Farne, von den Kräutern der nordischen Wälder bis zu den haushohen Stämmen Westindiens, sind Sporenpflanzen (Kryptogamen), d. h. sie vermehren sich durch einzellige Keimkörner oder Sporen, die ohne vorhergehende Blüte auf der Rückseite der Fiederchen entstehen. Bis vor kurzem schrieb man auch den Farnbäumen der Steinkohlenzeit eine derartige

Abb. 47. Zweig einer Kordaite.

Fruchtbildung zu. Neuere Entdeckungen haben indessen gelehrt, daß sie in der Fruchtanlage wie im anatomischen Bau des Stammes weit eher an Sagobäume (Zykadeen) als an Farne erinnern, also wohl Samenpflanzen waren. Man glaubt in ihnen eine — heute völlig erloschene — Übergangsgruppe zwischen Sporengewächsen und den nacktsamigen Blütenpflanzen (Gymnospermen) gefunden zu haben.

In den Steinkohlenwäldern gab es auch schon echte Koniferen, den jetzigen Araukarien verwandte Bäume. Sie traten jedoch gegen eine andere Gruppe zurück, die ebensowenig in die hergebrachte Pflanzensystematik paßt wie die Samenfarne. Es waren Formen, die zwischen Sagobäumen und Koniferen vermitteln, ersteren glichen sie im Bau der Blätter, letzteren in der Blütenanlage, während der Stamm Merkmale beider Familien vereinigte. Man hat sie Kordaiten genannt. Ihrem ganzen Aussehen nach mögen sie halb an Tannen, halb an Palmen erinnert haben: hohe, reich verzweigte Bäume mit langen, schmalen, vielnervigen Blättern und kleinen Ähren von Blütenkätzchen (Abb. 47). Obschon schlank von Wuchs, gehörten sie doch zu den stattlichsten Erscheinungen der karbonischen Wälder und dürften oft selbst die riesigen Bärlappbäume überragt haben. Eine besondere Abart der Steinkohle, die sogenannte Faserkohle, soll hauptsächlich aus dem Holz von Araukarien und Kordaiten hervorgegangen sein.

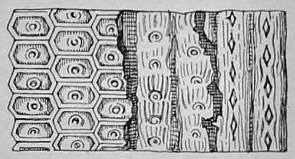
Man sieht: heutzutage scharf getrennte Pflanzengruppen gingen zur Karbonzeit noch ineinander über. Es ist dies eine ähnliche Erscheinung, wie wir sie bei den ältesten plazentalen Säugetieren kennen gelernt haben (vgl. S. 16).

Die seltsamsten Formen des Steinkohlenwaldes, zugleich die wichtigsten und am weitesten verbreiteten, bleiben uns noch übrig. Mit ihnen wüßte unser Beobachter zunächst wahrscheinlich gar nichts anzufangen. Wo fänden sich heutzutage auch moosartige Gewächse, die bald reich verzweigt und gegabelt, bald in schlanken Säulen zur Höhe der stattlichsten Buchen emporwuchsen? Und welch merkwürdige Zeichnungen auf den Stämmen! Hier ein Mosaik großer, rautenförmiger Polster, die in schrägen Reihen, wie Schraubenlinien, sich am Stamm emporwinden, dort senkrecht von unten nach oben verlaufende Leisten, oft in streng mathematischer Anordnung, bedeckt von runden oder sechseckigen Narben, die mit einem Riesenpetschaft eingepreßt zu sein scheinen. Dazwischen ein zierliches Gitterwerk von Furchen, zu einem wunderbar regelmäßigem System von Zickzacklinien geordnet. Wo auf der ganzen Erde gäbe es heute einen Wald mit auch nur annähernd so seltsamen Gestalten?

Leicht würde unser Beobachter nach den soeben geschilderten Merkmalen zwei Hauptformen unterscheiden: vielfach gabelnde, von der Wurzel bis zu den jüngsten Zweigspitzen mit rhombischen Schuppen bedeckte Stämme und fast unverzweigte, oben in einen dicken Blätterschopf endigende Baumsäulen, deren Rinde zahlreiche siegelförmige Narben trägt. Jene könnte er „Schuppenbäume", diese „Siegelbäume" (Abb. 48) nennen; die gelehrten Namen lauten Lepidodendren, bzw. Sigillarien.

Eine genauere Prüfung würde den Erforscher

des Steinkohlenwaldes überzeugen, daß er es bei diesen merkwürdigen Gewächsen mit Angehörigen der Bärlappklasse zu tun hat; namentlich im Bau der Sporenzapfen, in der Anlage und Gestalt der Blätter zeigt sich die Übereinstimmung. Aber unser heutiger Bärlapp und die nahe verwandten Moosfarne (Selaginellen) sind unscheinbare, am Boden kriechende Kräuter, die man jenen Beherrschern der karbonischen Landschaft nur zögernd an die Seite zu stellen wagt. In der Tat bestehen auch, abgesehen von dem fabelhaften Größenunterschied, manche systematischen Verschiedenheiten. Da sind zunächst die großen Blattpolster und Blattnarben an den Stämmen der Bärlappbäume, eben jene Rauten und siegelartigen Eindrücke, die nach Abfallen der Blätter an den unteren Teilen des Stammes so auffällig hervortreten. Sehr interessant ist ferner die Entdeckung, daß die Sporen mancher Schuppenbäume sich im befruchteten Zustand mit einem Sporenblatt von der Mutterpflanze ablösten, ähnlich wie es die Samen der Blütenpflanzen tun. Sonach scheint es, als ob die Schuppenbäume schon hart an der Grenze der Samenpflanzen standen. Die Fortpflanzung der Siegelbäume ist noch nicht genügend bekannt, doch zeigen sie im anatomischen Bau des Stammes und der Blätter manche Merkmale (z. B. ein weites Markrohr), die für die niedrigsten Blütenpflanzen, Zykadeen und Kordaiten, bezeichnend sind.



a b c

Abb. 48. Stammoberfläche eines Siegelbaums in dreifacher Erhaltung.
a mit erhaltener Oberhaut und Blattpolstern; b Rinde ohne Oberhaut; c entrindete Stammoberfläche, nur noch die Blattspuren zeigend. Nach Steinmann.

Hätte es in den Steinkohlenwäldern keine anderen Pflanzen gegeben als die großen Bärlappgewächse, so müßten sie ein seltsam starres Aussehen gezeigt haben. Die Schuppenbäume (Abb. 49) gleichen mit ihrer spärlichen Belaubung eher riesenhaften Pflanzenskeletten als frischen, grünenden Bäumen, und die Sigillarien mit ihrem geraden, hoch oben in einen Blätterschopf endigenden Stamm könnte man gewaltigen, aufgepflanzten Besen vergleichen. Wenn der Steinkohlenwald schön war, verdankte er es wohl allein der reichen Fülle der Farnsträucher, die überall zwischen den Bärlappbäumen wucherten und deren starre Formen mit der Pracht ihrer palmartigen Wedel verhüllten. —

Die Tierwelt der Steinkohlenmoore scheint ziemlich ärmlich gewesen zu sein. Die Zeit für eine reichere Entwicklung der luftatmenden und landbewohnenden Tiere war noch nicht gekommen, nur einzelne Gruppen hatten endgültig das wässerige Element verlassen und teils den Erdboden, teils die Luft zu ihrem Aufenthalt erkoren. Zu jenen gehört eine winzige Lungenschnecke, die den heutigen „Moosschrauben" (Pupa und Verwandte) nahesteht und wie diese im moosigen Waldboden gelebt haben wird; es ist die erste in der Erdgeschichte auftretende Landschnecke. Reichere Entwicklung zeigen schon die luftatmenden Gliedertiere; man kennt Spinnen, Skorpione, Tausendfüße, Termiten, Schaben und Heuschrecken. Interessant sind vor allem die Insekten dieser Urwelt, teils wegen ihrer riesigen Größe (vgl. Abb. 50, man kennt eine Heuschrecke aus den Steinkohlenschichten Frankreichs, die fast einen halben Meter lang wurde), teils wegen ihrer primitiven Organisation, die sich z. B. in der fast gleichmäßigen Ausbildung der beiden Flügelpaare ausspricht. Die heute herrschende Ungleichheit der Flügelpaare bildete sich, namentlich bei den Geradflüglern, erst während des Mittelalters der Erde heraus.

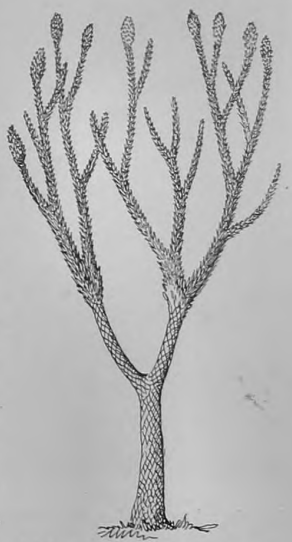


Abb. 49. Lepidodendron oder Schuppenbaum, restauriert.

Die Schälchen der oben erwähnten Landschnecke findet man neben Resten von Gliedertieren bisweilen in hohlen, jetzt natürlich von Gesteinmassen ausgefüllten Bärlappbaumstämmen. Als größte Merkwürdigkeit dieser Art kann ein Baumstumpf aus den Steinkohlenlagern der Insel Neuschottland gelten, in dessen

Höhlung der amerikanische Geologe Dawson die Skelettreste von einem ganzen Dutzend höchst wunderbarer Amphibien entdeckte. Vermutlich haben die Tiere darin genistet und kamen alle zusammen bei einer plötzlichen Überschwemmung des Steinkohlenwaldes ums Leben. Denn es waren lufatmende Geschöpfe, die nur in der Jugend noch Kiemen besaßen. Sie lassen sich im System der heutigen Lurche nicht unterbringen, stellen vielmehr eine selbständige, zu

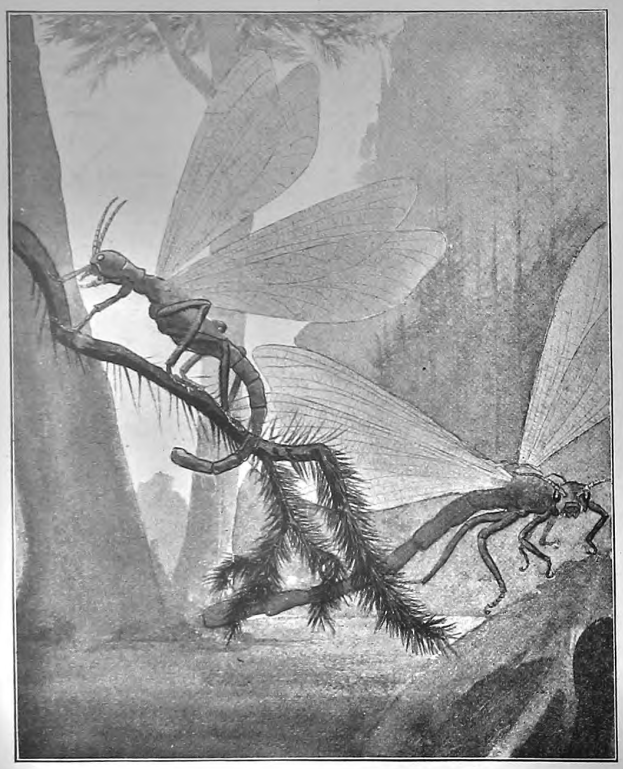


Abb. 50. Zwei Insekten der Steinkohlenzeit (wiederhergestellt); rechts die bis 50 cm lang werdende Titanophasma Fayoli und links Protophasma Dumasii.

den Reptilien neigende Gruppe dar, für die man den Namen Stegozephalen gebraucht.

Später wurden diese Urlurche auch in anderen Ablagerungen der Karbon- und Permzeit gefunden, so im „Rotliegenden" des Plauenschen Grundes bei Dresden, von wo über tausend Exemplare der einzigen Gattung Branchiosaurus bekannt sind, und im Rotliegenden von Saarbrücken, wo die Gattung Archegosaurus fast ebenso reichlich vertreten ist. Der anatomische Bau der Tiere zeigt viel Merkwürdiges. Äußerlich scheinen sie teils Salamandern und Eidechsen, teils Krokodilen, teils Schlangen geglichen zu haben; es ist, als ob die Natur in dieser uralten Gruppe schon manche spätere Entwicklungsmöglichkeiten der Reptilien hätte andeuten wollen. Von den heutigen Lurchen unterscheidet sie vor allem der feste, knöcherne Kopfpanzer, der ihnen den Namen Stegozephalen („Panzerköpfige") verschaffte, ferner das meist den Bauch bedeckende Schuppenkleid. Bei den ursprünglichsten Formen, zu denen der Plauensche Branchiosaurus (Abb. 51), ein salamanderähnliches Tierchen, gehört, war die Wirbelsäule noch sehr unvollkommen verknöchert, ebenso waren Hinterhaupt, Hand- und Fußwurzel nur knorpelig ausgebildet. Im Lauf der späteren Entwicklung nimmt die Verknöcherung dieser Teile zu; die Labyrinthzähner der Trias, die im Buntsandstein ihre großen, handförmigen Fährten hinterließen, besaßen schon eine solide Wirbelsäule und einen stark verknöcherten Schädel. Mit ihnen sterben, zur Keuperzeit, die Urlurche aus.

Wollen wir uns über die zoologische Stellung der Stegozephalen klar werden, so kommt folgendes in Betracht. Ihre Jugend-Verwandlung und gewisse anatomische Kennzeichen, z. B. der Besitz eines doppelten Hinterhauptgelenkes, verweisen sie in die Klasse der Amphibien. Andere Merkmale aber sind reptilartig, vor allem Zahnbildung und Schuppenbildung. Endlich besteht auch eine gewisse Verwandtschaft mit den sonderbaren Panzerfischen der ältesten Erdzeitalter (wir werden im Devon von ihnen hören), namentlich im Bau des Kopf- und Brustpanzers tritt die Ähnlichkeit deutlich hervor. Nach alledem darf man die gepanzerten Urlurche als ausgezeichnetes Beispiel eines „Sammeltypus" betrachten: Merkmale dreier, heute scharf getrennter Wirbeltierklassen findet man in ihnen vereint. —

Reptilien gab es zur Steinkohlenzeit noch nicht, erst im „Rotliegenden" des Perm er-

scheinen die ältesten, sehr primitiven, im Knochenbau den Stegozephalen noch nahestehenden Vertreter. Im Aussehen gleichen sie Eidechsen, erreichten aber zum Teil beträchtliche Größe (bis zu zwei Meter Körperlänge). Eine einzige Gattung, die neuseeländische Brückeneidechse (Hatteria), hat sich in die Gegenwart hinübergerettet.

Säugetiere kennt man weder aus karbonischen noch permischen Schichten, wohl aber

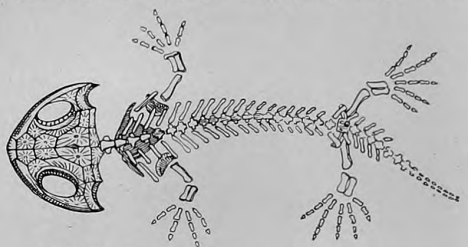


Abb. 51. Larve des Branchiosaurus amblystomus. Aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes.

waren die merkwürdigen Theriodonten, die Reptilien mit Säugergebiß (S. 44), zur Zeit des Rotliegenden auch in Mitteleuropa verbreitet. Ihr Erscheinen deutet an, daß die Abzweigung des Säugetierstammes von reptilienartigen Urformen ungefähr in diesem Zeitalter stattgefunden hat. —

So sehr uns die Steinkohlenschichten im Hinblick auf ihre wirtschaftliche Bedeutung interessieren, würden wir doch von der Karbonzeit eine ungenügende Vorstellung bekommen, wenn wir ihr Vorkommen allein berücksichtigten. In ganz Deutschland, Belgien und England entstammen sie nur der zweiten, jüngeren Hälfte der Karbonzeit, vorher waren diese Länder größtenteils vom Meere bedeckt. So kommt es, daß man unter den Steinkohlenschichten (dem „produktiven" Karbon der Bergleute) fast überall mächtige Kalk- und Schiefergesteine antrifft, die sich durch eine Fülle versteinerter Meerestiere als Absätze des Ozeans erweisen. Für die Kalke ist die Bezeichnung „Kohlenkalk" (obschon Kohlen hier ganz fehlen), für die schieferigen und sandigen Lagen der aus dem Englischen stammende Ausdruck „Kulm" gebräuchlich. Die älteren Geologen glaubten, die Zweiteilung der Karbonschichten in ältere, ozeanische, und jüngere, festländische, lasse sich auf die ganze Erde anwenden, aber dem ist nicht so; seit etwa dreißig Jahren hat man in anderen Teilen der Welt ganz abweichende Verhältnisse kennen gelernt. So ist in Rußland und einzelnen Gegenden Nordamerikas gerade das ältere Karbon „produktiv", steinkohlenführend, und das jüngere besteht aus marinen Schichten, — dort grünten also die Steinkohlenwälder zu einer Zeit, als unser Gebiet noch auf dem Grunde des Ozeans lag, und später war es umgekehrt. Andere Erdräume waren überhaupt die ganze Karbonzeit hindurch vom Meere bedeckt und blieben es zum Teil noch länger, so die Weststaaten der Union, wo der Kohlenkalk nach oben ganz unmerklich in den Permkalk übergeht, und alles eine einheitliche, mehrere tausend Meter mächtige Schichtenfolge von Meeresabsätzen bildet.

Während das Land allem Anschein nach erst wenig bevölkert war, herrschte in den Ozeanen der Karbonzeit ein reich entwickeltes Tierleben. Beginnen wir mit den niedrigsten Formen, so zeigt sich eine merkwürdige Übereinstimmung mit der viele Jahrmillionen späteren Tertiärzeit. Wie sich hier die Nummuliten, jene Riesen unter den Kammerlingen, in ausgiebigstem Maße als Felsbildner betätigten, so in der Steinkohlenzeit die Fusulinen, eine andere Gruppe der Kammerlinge. Es waren kleinere Formen als die Nummuliten, teils gerippte, meist nur erbsengroße Kügelchen (Abb. 52). In manchen Gegenden muß das Meer geradezu von ihnen gewimmelt haben, zu Myriaden finden sich die winzigen Fusulinen in den Bänken des russischen, amerikanischen und japanischen Kohlenkalks. Ihr plötzliches, massenhaftes Auftreten erfolgt ganz unvermittelt; aus dem Devon kennt man sie noch nicht, und in der Permzeit sterben sie schon wieder aus, während fast alle anderen Familien der Kammerlinge viele Erdepochen hindurch bis in die Jetztzeit sich lebensfähig erhalten haben.

Abb. 52. Fusulina cylindrica. (Natürliche Größe und vergrößert.)

Als felsbildende Tiere erscheinen vorzugsweise im amerikanischen Kohlenkalk auch die Haarsterne oder Seelilien, deren höchste Blüte in dieses Zeitalter fällt. Die paläozoischen Haarsterne (vgl. Abb. 53) waren im allgemeinen starrer und plumper als die mesozoischen und die, wie bekannt, nur spärlichen heutigen Vertreter, ihre Kelchdecke war nicht biegsam, die Arme viel schwerer beweglich. Freischwimmende, ungestielte Formen, wie z. B. der heutige Mittelmeerhaarstern (Comatula mediterranea), gehörten zu den Seltenheiten. Während in der Jetztzeit die gestielten Seelilien im Schlamm der Tiefsee wurzeln, schei-

nen ihre paläozoischen Urahnen Seichtmeerbewohner gewesen zu sein, die sich vorzugsweise auf Korallenriffen ansiedelten.

Fremdartig muten uns auch die Korallen an, von denen jene Bauten herrühren. Die gegenwärtigen Steinkorallen sind Sechsstrahler, d. h. ihre sack- oder röhrenförmige Magenhöhle, (die fast den ganzen Innenraum des Tieres einnimmt) ist sechsfach oder mehrmals sechsfach geteilt, und die einzelnen Magenfächer sind durch senkrechte Kalkblätter (Sternleisten, Septen) voneinander geschieden. Solche Korallen waren im Altertum der Erde selten, damals herrschte an Stelle der Sechs- eine Vierteilung, oder aber es kam gar nicht zu einer regelrechten Ausbildung von Sternleisten, dann war gewöhnlich der Innenraum des Gehäuses durch wagerechte Querböden in übereinanderliegende Stockwerke geteilt. Solche „Bödenkorallen" (Tabulaten) bauten in Gemeinschaft mit Vierstrahlern die Riffe der Steinkohlenzeit und noch älterer Perioden auf.

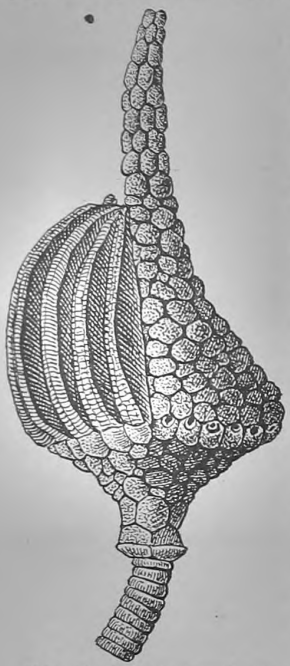


Abb. 53. Batocrinus pyriformis, ein Haarstern aus dem nordamerikanischen Kohlenkalk. Auf der rechten Seite sind die Arme fortgenommen, um den getäfelten Kelch zu zeigen.

Abb. 54. Pentremites sulcatus, ein Knospenstrahler aus dem nordamerikanischen Kohlenkalk.

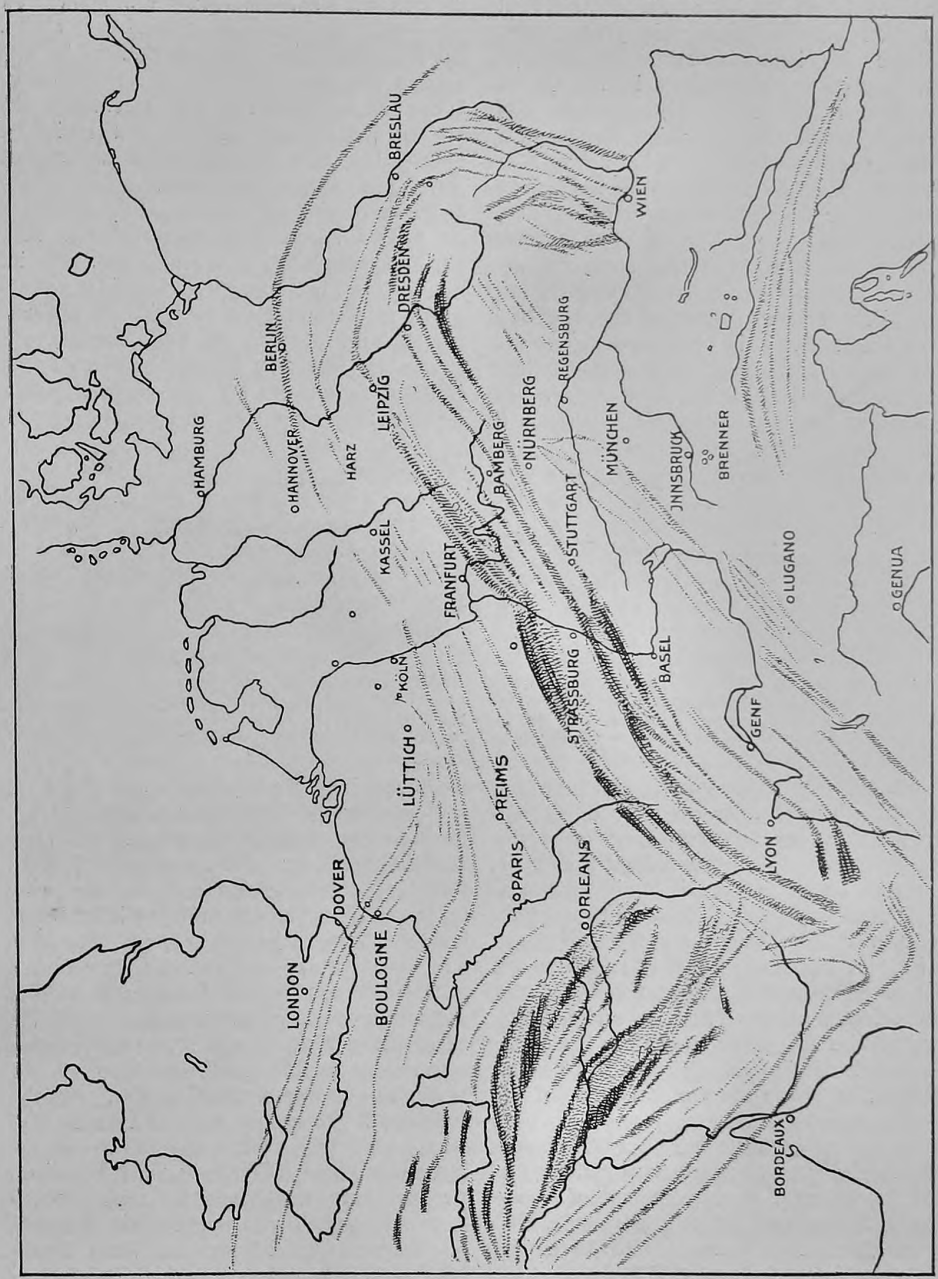
Zu einer völlig ausgestorbenen Tierklasse gehören die merkwürdigen Knospenstrahler (Abb. 54), Verwandte der Haarsterne, von denen sie sich sehr auffällig durch Fehlen der Arme unterscheiden. Die versteinerten Formen gleichen fünfblättrigen Blumenknospen, die eben im Begriff sind aufzubrechen, im Leben war diese Gestalt wohl verhüllt durch ein Gewirr zierlicher, dem Kelch aufgesetzter Fiederchen. Die Knospenstrahler gehören zu den bezeichnendsten Gestalten der karbonischen Ozeane, aus jüngeren Erdperioden sind sie nicht bekannt.

Mit Kammerlingen, Korallen und Stachelhäutern ist der Reichtum der karbonischen Meerestierwelt noch lange nicht erschöpft. Allzu weit würde es führen, die ungemeine Formenfülle der Armfüßer, Muscheln und Kopffüßer an Beispielen zu erläutern, nur der Beherrscher jener Meere, der Fische, sei kurz gedacht. Haiartige Knorpelfische dürften den Vorrang behauptet haben, ungemein häufig findet man im Kohlenkalk ihre breiten Mahlzähne und die manchmal fußlangen Flossenstacheln (Abb. 55), dagegen ist leider das leicht vergängliche Knorpelskelett fast niemals erhalten geblieben. Gegen diese gefräßigen Raubfische konnten die weniger wehrhaften Schmelzschupper nicht aufkommen, sie hielten sich mehr an ruhige Buchten oder waren ins Süßwasser eingewandert. Knochenfische gab es noch nicht. —

Abb. 55. Ctenacanthus, Flossenstachel eines Knorpelfisches aus dem irischer Kohlenkalk.

In der jüngeren Steinkohlenzeit und der älteren Permzeit (dem „Rotliegenden") war Mitteleuropa zum weitaus größten Teil Festland, doch um die Mitte der Permzeit drang ein Arm des nordischen Ozeans von Rußland her gegen Westen vor und setzte fast ganz Norddeutschland unter Wasser. Diesem Meeresvorschub verdanken wir eine Reihe wertvoller Bodenschätze, unter denen die weltberühmten Kalisalze den ersten Rang behaupten. Das Meer war flach, zog sich zeitweilig zurück und hinterließ große Lagunen und Binnenseen, die unter einer heißen Sonne langsam eindampften und Absatzbecken für mächtige Gips-, Steinsalz- und Kalisalzlager wurden. Auch andere Ablagerungen jenes Meeres, z. B. der Mansfelder Kupferschiefer und die Dolomitriffe Thüringens, bieten viel Interessantes und werden uns im Verein mit den Salzlagern im zweiten Band näher beschäftigen. Die gesamte Formation trägt den Namen „Zechstein", ein Wort, das bald mit den „Zechen" der Bergleute in Zusammenhang gebracht, bald als „zäher Stein" gedeutet wird. Das Zechsteinmeer enthielt im Vergleich mit den permischen Ozeanen eine sehr ärmliche Tierwelt; nur Armfüßer, riffbauende Moostiere (Bryozoen, ein selbständiger, den Würmern nahe-

stehender Tierstamm) und Schmelzschupper brachten es zu einer reicheren Entwicklung.



Karte der karbonischen Alpen Mitteleuropas nach Frech.

Farnwälder ungezählte Jahrtausende hindurch unergründlichen Dickichte der Bärlapp- und

Diese Verhältnisse erinnern lebhaft an die Muschelkalkzeit (S. 41).

Während in den sumpfigen Tiefländern die wucherten, dahinsanken und aufs neue erstanden, während am Grunde des Ozeans aus Billionen winziger Fusulinenschälchen die gewaltigen

Massen des Kohlenkalks sich absetzten, waren andere Gebiete der Erdoberfläche der Schauplatz großartiger Umwälzungen. Um die Mitte der Steinkohlenzeit setzte mit großer Energie die Gebirgsbildung ein und zog bald ungeheuer weite Gebiete in ihr Bereich. Im Westen und in der Mitte unseres Kontinents türmten sich gewaltige Faltengebirge auf, die karbonischen Alpen Europas, die an Ausdehnung und vielleicht auch an Höhe die heutigen Alpen bedeutend übertrafen. Von ihrem Verlauf, der natürlich nur annähernd bekannt ist, mag das umstehende Kärtchen eine Vorstellung vermitteln. Der berühmte Wiener Geologe Eduard Sueß unterscheidet in dieser uralten Gebirgswelt zwei Hauptsysteme: das armorikanische, von Mittelfrankreich bis zur Bretagne, nach Wales und Irland reichend (die Fortsetzung ist erkennt dies an der übereinstimmenden Faltung der alten Gneis- und Schieferlagen, die zusammen mit eingedrungenen Granitmassen die „Rümpfe" der deutschen Bergländer bilden. Ihre heutige Form verdanken unsere Mittelgebirge späteren Bewegungen der Erdkruste, durch Abtragung wurden die karbonischen Alpen zu flachwelligen Hügelländern erniedrigt und sanken zum Teil während der großen Jura- und Kreideüberflutungen unters Meer, aus dem sie erst zur Tertiärzeit in veränderter Gestalt wieder emportauchten. Wie man sich diese Wandlungen zu denken hat, steht im Kapitel „Gebirgsbildung" zu lesen.

Da die Faltungen um die Mitte der Karbonzeit begannen und bis ins Perm fortdauerten, müssen sie auch die Steinkohlenschichten mit ergriffen haben. In der Tat beobachtet man in vielen Kohlengebieten ganz außerordentliche

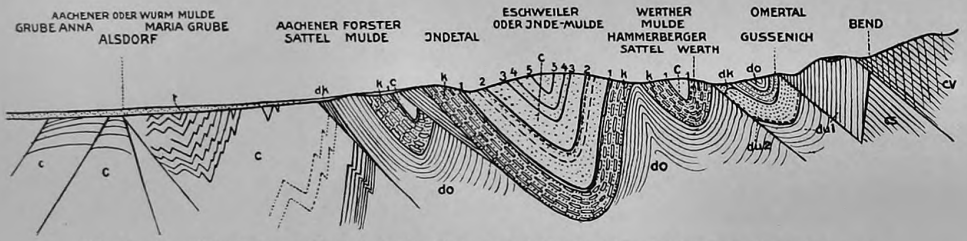


Abb. 56. Profil durch das gefaltete und überschobene Steinkohlengebirge bei Aachen. Nach Holzapfel.
Schichtenfolge: cv, cs Kambrium. du Unterdevon. dk Kalke des Mitteldevon und älteren Oberdevon. do Schiefer und Sandsteine des Oberdevon. k Kohlenkalk, c Oberkarbon mit Kohlenflözen (1—5). t Tertiär.

im Atlantischen Ozean versunken), und das variskische oder mitteleuropäische, dessen Ketten sich von Lyon und Genf über die Vogesen und den Schwarzwald nach dem Thüringer Wald, dem Harz und Erzgebirge, ja bis in die Gegend von Berlin erstreckten. Etwa auf der Linie der heutigen Elbe bogen sie nach Südosten um, liefen über die Sudeten nach Oberschlesien und Polen, wandten sich schließlich ganz südlich und endigten unweit Wien. So ergibt sich die merkwürdige Vorstellung, daß am Ende der Karbonzeit Berlin und Wien durch mächtige Hochgebirgsbogen verbunden waren.

Der Leser wird fragen, woher man denn alles das weiß. Reste der Steinkohlenalpen sind in den zahlreichen gefalteten Mittelgebirgen Deutschlands, Frankreichs und Englands erhalten. Bei uns gehen Schwarzwald, Vogesen, Odenwald, Taunus und Rheinisches Schiefergebirge, Teile des Thüringer und Frankenwaldes, Harz, Sudeten und noch andere Bergländer, wenigstens in ihrer ursprünglichen Anlage, auf die Steinkohlenzeit zurück. Man Knickungen und Verschiebungen der Schichten, die zuweilen so stark werden, daß sie den Bergbau aufs äußerste erschweren. Die alten Aufwölbungen des Gebirges, die „Sättel", sind längst fortgewaschen und mit ihnen die kostbare Steinkohle, nur in den Einsenkungen, den „Mulden", ist sie noch erhalten. Aber auch hier schneiden die Flöze an zahlreichen Stellen plötzlich ab und finden sich daneben erst in viel größerer Tiefe wieder; dazwischen sind sie zu steilen Mulden oder engen Zickzackfalten zusammengeschoben (vergleiche das Profil durch die Aachener Karbonmulden, Abbildung 56). Bisweilen hat man den Eindruck, als sei früher das Kohlengebirge in Hunderte kleiner Schollen zerstückelt worden, die dann durch plötzlichen Stoß emporgeschleudert und bunt durcheinander wieder herabgefallen seien. Dabei können auch ältere Schichten, z. B. devonische, über die Steinkohlenformation hinübergeschoben sein, so daß im eigentlichen Sinne das Unterste zu oberst liegt. Man kann sich denken, welche Schwierigkeiten

dem aufnehmenden Geologen die kartenmäßige Darstellung eines solchen Schichtenwirrwarrs bereitet. —

Auch in anderen Erdteilen entstanden zur Karbon- und Permzeit mächtige Hochgebirge. So ist der Ural ein Werk jenes Zeitalters, ebenso die nordamerikanischen Appalachien, berühmt durch ihre ungeheuren Kohlenschätze. Der Ural wurde zur Tertiärzeit nochmals stark gehoben, so daß er uns noch heute als mächtiges Gebirge vor Augen tritt, die Appalachien sind im Osten ganz eingeebnet; nur in den Alleghanies steigen noch die alten Faltenzüge bis zu 2000 Meter Höhe empor.

Die Auftürmung der Steinkohlengebirge war begleitet von großartigen vulkanischen Ausbrüchen. Die alten Vulkane, soweit man darunter Schlacken- und Lavaberge über der Erdoberfläche versteht, sind freilich längst verschwunden, aber die Kerne, die im Innern der vulkanischen Herde erstarrten Schmelzmassen, haben den Wechsel der Zeiten bis heute überdauert. Als Vulkan in diesem Sinne kann man z. B. den Brocken im Harz bezeichnen, einen mächtigen Granitstock, der zur Steinkohlenzeit in die alten Schichtgesteine eindrang und unter ihrer schützenden Decke langsam erstarrte. Solche uralte Granitmassen finden sich fast überall im Gebiet der „mitteldeutschen Alpen". Während der Permzeit waren Thüringen, Sachsen und Schlesien der Schauplatz besonders gewaltiger Ausbrüche. Die losen, von den Vulkanen ausgeworfenen Aschen und Schlacken häuften sich zu dicken Tuffschichten an, die öfters versteinerte Pflanzenreste führen (Farnwedel, Tannenzweige, verkieselte Stämme von Farnbäumen, Schachtelhalmen, Araukarien und Kordaiten, im ganzen eine Flora, die noch sehr an den Steinkohlenwald erinnert, nur daß Siegel- und Schuppenbäume anfangen, selten zu werden). Die hervorquellende Lava erstarrte meist zu hartem Porphyrgestein, das in Thüringen und Sachsen in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut wird. Später trugen Verwitterung, Regen und Wind die Vulkankegel ab und häuften den Schutt im Vorlande zu dicken Geröll- und Sandsteinbänken an. Alle Ablagerungen dieses Zeitalters, die vulkanischen Tuffe und Laven wie die vom Wasser abgesetzten Schuttmassen sind durch lebhaft rote Farben ausgezeichnet, eine Eigenschaft, die der ganzen Schichtenreihe die Benennung „Rotliegendes" verschafft hat.

Eines der großartigsten Vulkangebiete der Permzeit ist das Porphyrplateau von Bozen und Meran. Durchfurcht von tiefen, engen Tälern und Schluchten, bietet es dem Reisenden eine Fülle der prachtvollsten Felsszenerien. Durch die Eisackschlucht führt die Brennerbahn, großartiger noch ist das Eggental mit seinen oft hundert und mehr Meter senkrecht abstürzenden Porphyrplatten. Auch hier ist Rot die herrschende Farbe.

Früher wurde erwähnt, daß nach Ansicht mancher Forscher die auffallende Wärme der Tertiärzeit mit der damals so lebhaften vulkanischen Tätigkeit zusammenhängt. Arrhenius, der diese Theorie näher begründete, nimmt an, daß ein höherer Kohlensäuregehalt der Luft die Ausstrahlung der Erde gegen den kalten Weltraum stark verminderte und ein gleichmäßig warmes Klima ohne bedeutende Unterschiede der Jahreszeiten und geographischen Zonen zur Folge hatte. Nun steht ja fest, daß in vulkanischen Gebieten jahraus, jahrein ungeheure Mengen Kohlensäure dem Erdboden entweichen, aber gewichtige Gründe sprechen dagegen, daß sich in der Luft bedeutende Mengen davon ansammeln (vgl. S. 47). Wahrscheinlich verschluckt das Meer den bei weitem größten Teil der geförderten Kohlensäure, und der Rest wird von der Vegetation verbraucht, die um so üppiger gedeiht, je kohlensäurereicher die Atmosphäre ist, oder, wie Neumayer sich ausdrückt: der Verbrauch regelt sich nach der Zufuhr.

Die Theorie von Arrhenius steht aber auch mit den Tatsachen der Erdgeschichte in unlöslichem Widerspruch. Allerdings, wenn man nur die Verhältnisse der Steinkohlenzeit betrachtet, so scheint alles in bester Ordnung. Damals herrschte tatsächlich fast auf der ganzen Erde, vom Äquator bis in hohe Breiten, ein wunderbar gleichmäßig mildes Klima. Den Beweis dafür liefert die fast vollkommen gleichartige Flora der Steinkohlenwälder in weit voneinander entfernten Teilen der Erde. Von Europa durch ganz Asien bis Nordamerika gleichsam nur ein Wald, die gleichen Bärlappbäume, beschattet von den breiten Wedeln der gleichen Farnstämme, die sumpfigen Dickichte der Riesenschachtelhalme, die Haine der schlanken Kordaiten hier wie dort in gleicher Entwicklung. Und was noch viel merkwürdiger ist, ja ganz unerklärlich scheint, auch in nord-südlicher Richtung, von Südafrika hinauf bis zum nördlichen Polarkreis dieselbe Erscheinung! Die Steinkohlenpflanzen Deutschlands finden sich ebensogut am Zambesi wieder wie im „eisigen" Norden, auf Spitzbergen und der

Bäreninsel! Überall eine Flora, die zu ihrem Gedeihen ein mildes, feuchtes, frostfreies Klima voraussetzt, etwa wie es heutzutage auf Neuseeland herrscht.

Zu einem ganz ähnlichen Schluß drängt die gleichmäßige Verbreitung der karbonischen Meerestiere. Mag auch die ungeheure Ausbreitung der Fusulinenkalke nicht viel beweisen, so zeigen doch auch die Flachseebewohner, Korallen, Seelilien, viele Armfüßer in weit entfernten Gegenden eine auffällige Übereinstimmung.

Wenden wir uns aber den Verhältnissen der Permzeit zu, so ändert sich das Bild in geradezu verblüffender Weise. Dort fast auf der ganzen Erde ein wahrhaft paradiesisches Klima, hier zwischen Nord und Süd Gegensätze von unerhörter Schärfe.

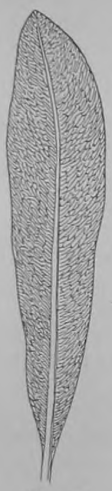


Abb. 57. Blatt von Glossopteris indica.

Und nun tritt uns eines der dunkelsten Rätsel der Erdgeschichte entgegen. Nicht im Norden wird es kalt, nicht in unseren Gegenden, wo sich vielmehr mit der Zeit ein trockenes, heißes Wüstenklima herausbildet, nein, die normalen Grundsätze der Verteilung von Wärme und Kälte scheinen ins gerade Gegenteil verkehrt, und Länder, die heute zu den heißesten der Erde gehören, leiden unter den Unbilden eines wahrhaft arktischen Klimas. Über weite Gebiete Ostindiens und Südafrikas breiten sich ungeheure Eisfelder aus, auch Australien und Südamerika sind teilweise vergletschert. Im Gefolge dieser großen Vereisung erscheint überall eine neue Pflanzenwelt, die an Stelle der vernichteten Steinkohlenflora sich rasch die südlichen Länder erobert und mit der Zeit immer weiter nach Norden vordringt. Ihre Leitform ist ein Farn, genannt Glossopteris, dessen lange, zungenförmige Blätter eine feine, netzförmige Nervatur zeigen (Abb. 57); er muß in ungeheuren Massen die damaligen Wälder erfüllt haben. Man hat nach ihm die ganze, einem kälteren Klima entsprossene Pflanzenwelt „Glossopterisflora" genannt.

Wie es zugegangen ist, daß gerade die Gegenden um den Äquator einer so ausgiebigen Vergletscherung anheimfielen, während bei uns von gleichzeitigen Eisspuren fast nichts zu finden ist,*) diese rätselhafte „Umkehr" der Klimazonen zu erklären, bedeutet für den Geologen wie den Erdphysiker eine vorläufig unlösbare Aufgabe. Man hat an eine Wanderung der Pole über die Erdkugel gedacht und den „permischen" Südpol in den Mittelpunkt der vereisten Gebiete, nämlich in den Indischen Ozean zwischen Madagaskar und Australien, verlegt, dann würde der Äquator quer durch Europa laufen, was ja mit dem heißen Permklima unserer Gegenden gut übereinstimmt, aber der Nordpol würde nach Mexiko zu liegen kommen, und man sollte erwarten, auch in Mittel- und Nordamerika die Moränen der permischen Gletscher zu finden. Das ist jedoch bislang nicht gelungen, vielmehr scheinen in den großen Kohlengebieten der Union die günstigen klimatischen Verhältnisse noch während der älteren Permzeit angedauert zu haben, ähnlich wie im europäischen „Rotliegenden", das ja stellenweise noch Steinkohlenlager enthält. Die einzigen sicher aus der Permzeit stammenden Eisablagerungen Amerikas wurden im brasilianischen Staate Rio Grande do Sul entdeckt, das wäre aber ein dem hypothetischen Äquator benachbartes Gebiet, wo folgerichtig die Entstehung größerer Eismassen ganz unmöglich scheint. Nach alledem steht die Hypothese einer Verschiebung der Erdpole mit den tatsächlich beobachteten Verhältnissen in Widerspruch und ist ganz ungeeignet, das Rätsel der permischen Eiszeit aufzuhellen.

Neuerdings hat der Tübinger Geologe E. von Koken darauf aufmerksam gemacht, daß die permischen Meeresströmungen von den heutigen stark abweichen mußten. Er weist aus der Verbreitung der Fusulinenkalke eine wärmere Strömung nach, der die nördlichen Meere und Länder ihr warmes Klima verdanken sollen. Auf der Südhalbkugel fehlen die Fusulinenkalke, dort flutete etwa vom 40. Breitengrade bis zum Pol ein großes Eismeer, das die Küsten der südlichen Festländer stark abkühlte. Damit wäre wohl die Vereisung Afrikas und Australiens erklärt, aber Indien, wo sie vielleicht am bedeutendsten war, lag nicht im Bereich des kalten Südpolarstromes, sondern wurde von den warmen

*) Neuerdings will man in der Steinkohlenformation Westfalens Gletscherschliffe und vom Eis geschrammte und polierte Steine entdeckt haben. Diese Funde sind jedoch zu geringfügig, um den Schluß auf eine allgemeine Vereisung Deutschlands zur Permzeit zuzulassen, und beweisen höchstens, daß die damaligen Hochgebirge so gut ihre Gletscher gehabt haben wie die heutigen. Ähnliche Verhältnisse bestehen in der Gegenwart auf Neuseeland, wo in den Niederungen ein feuchtwarmes, „karbonisches" Klima herrscht, während die Gebirge ansehnliche Gletscherströme tragen.

Fluten der Tethys bespült. Sonach wird auch der Erklärungsversuch Kokens nur einem Teil der Erscheinungen gerecht.

Man hat ferner versucht, die permische Eiszeit mit den großen, vorhergegangenen Gebirgsbewegungen in Beziehung zu bringen. Daß die Auftürmung so hoher und ausgedehnter Kettengebirge, wie der karbonischen, einen ungünstigen Einfluß auf das Klima weiter Länderräume ausüben mußte, ist wohl nicht zu leugnen, und der allgemeine Klimaumschwung um die Wende der Steinkohlenzeit mag sich vielleicht daraus erklären. Aber wären die Gebirge allein schuld an der Vereisung, so müßte sich diese vor allem in Europa nachweisen lassen, das ja kreuz und quer von ihren Ketten durchzogen wurde. Nun liegt aber die Sache so, daß in dem gebirgsreichen Europa die permischen Gletscherspuren und in den Haupteisgebieten, Indien und Südafrika, die karbonischen Faltenzüge fehlen. Somit können die gewaltigen Eisfelder, die jene Länder bedeckten, unmöglich von vergletscherten Hochgebirgen ausgegangen sein.

Dagegen scheint es nicht ausgeschlossen, daß damals Indien und Südafrika ausgedehnte, hoch über dem Meer gelegene Ebenen waren, die wegen ihrer bedeutenden Höhenlage vergletscherten. Nach den neuesten Entdeckungen liegt ja die gewaltige Binneneismasse des Südpols auf einem solchen Tafelland, 3000 bis 3500 Meter über dem Meer. Aber damit eine ähnliche Eisentwicklung in den Tropen zustande käme, müßte man die durchschnittliche Höhenlage der betroffenen Gebiete mindestens aufs Doppelte schätzen*) und eine außerordentliche Fülle der Niederschläge annehmen, wobei dann noch immer unerklärt bliebe, wie die indischen Eisströme bis ans Meer, bis in die Fluten der warmen Tethys hinabreichen konnten. Wie wir uns auch drehen und wenden, wir stoßen immer wieder auf irgend etwas Unbegreifliches.

Angesichts der außerordentlichen Unwahrscheinlichkeit einer Vereisung der Tropenländer haben manche Geologen den Moränencharakter der fraglichen Schichten überhaupt geleugnet und sie als Strandbildungen, Flußablagerungen oder gar als vulkanische Explosionsstoffe gedeutet. Indessen ist die Übereinstimmung mit dem Moränenlehm der jüngsten Eiszeit (z. B. in der Norddeutschen Tiefebene) zu auffallend, um einen Zweifel zuzulassen; auch hat man vielfach vom Eis polierte und gekritzte Steine, stellenweise sogar den von den Gletschern abgeschliffenen, geglätteten und geschrammten Felsuntergrund aufgefunden. Die permische Eiszeit ist eine vollkommen gesicherte Tatsache, aber sie bedeutet zugleich ein Problem, dessen Lösung nach dem gegenwärtigen Stand unseres Wissens unmöglich scheint.

So bleibt uns nichts als die negative Erkenntnis, daß Kälte- und Wärmeperioden unabhängig sind vom oberirdischen Vulkanismus und damit auch vom Kohlensäuregehalt der Luft. Denn die beiden großen Kältezeitalter stehen gerade in entgegengesetzter Beziehung zum Vulkanismus: das Diluvium war nur von schwachen, örtlich sehr beschränkten, das Perm dagegen von ungemein heftigen, ergiebigen und weit verbreiteten Ausbrüchen begleitet. Die vulkanische Tätigkeit erwacht um die Mitte der Steinkohlenzeit, als das gleichmäßig warme Klima vielleicht schon ein paar Jahrmillionen bestand, überdauert die ganze Klimaverschlechterung und erlischt ungefähr um die Zeit, als die großen Eisfelder da unten allmählich abschmelzen, woraus sich klar ergibt, daß wenigstens mit der vulkanischen Tätigkeit an der Erdoberfläche kein Zusammenhang besteht.

Es gibt aber auch vulkanische Erscheinungen, die sich fast ganz auf die Tiefe beschränken: Strömungen, auf- und absteigende Bewegungen in den feuerflüssigen Zonen des Erdinnern, gelegentlich starkes Anschwellen der schmelzflüssigen Massen, wodurch die überlagernden Gesteinschichten gehoben und domförmig aufgewölbt werden, ohne daß es zu Ausbrüchen kommt, ferner gewaltige Explosionen und andere „Auslösungen der Spannung" an der Grenze von Erdrinde und Kern. Dieser rein unterirdische Vulkanismus ist für die Gestaltung des Erdreliefs von weit größerer Bedeutung als der oberflächliche und mit der Gebirgsfaltung so eng verknüpft, daß man trotz vieler schönen Theorien noch immer nicht weiß, was Ursache, was Wirkung ist.

Um wieder auf die Eiszeiten zurückzukommen, so zeigt der Verlauf der Erdgeschichte, daß sie immer als Abschluß einer Periode der Gebirgsfaltung eintreten: auf die tertiäre Faltungsperiode folgte die diluviale, auf die Bildung der Steinkohlengebirge die permische Eiszeit, und auch in noch früheren Weltaltern scheint es so gewesen zu sein. Die zeitliche

*) Das Plateau von Tibet besitzt etwa die entsprechende Höhenlage (5—6000 Meter), ist aber in der Gegenwart trotz langer, kalter Winter unvergletschert, weil die Sommer sehr heiß werden und ziemlich trocken verlaufen (Kontinentalklima).

Folge ist unleugbar, trotzdem kann die Aufrichtung der Gebirge allein die Vereisungen nicht erklären. In den warmen Zwischeneiszeiten, zu denen vielleicht auch die Gegenwart gehört, existierten die Hochgebirge ja auch, — darum müssen wohl noch andere Ursachen mitgespielt haben. Man hat an alles mögliche gedacht: an eine höhere Lage der Kontinente im allgemeinen (vgl. oben), an ein anderes Verhältnis von Land und Meer, das einen abweichenden Verlauf der kalten und warmen Meeresströmungen und einen höheren Wasserdampfgehalt*) der Atmosphäre, daher weit stärkere Niederschläge bedingte, — an veränderte Zugstraßen der barometrischen Minima, endlich an „kosmische" Ursachen, wie Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn und der Schiefe der Ekliptik. Es scheint müßig, diese Hypothesen im einzelnen zu erörtern, da keine für sich allein das Eiszeitproblem restlos zu lösen vermag. Wenn wir den Satz aufstellen: Eiszeiten entstehen durch Zusammenwirken mehrerer Ursachen, unter denen eine bestimmte Verteilung von Land und Meer sowie die Existenz ausgedehnter Hochgebirge die Hauptrolle spielen, so glauben wir damit alles gesagt zu haben, was sich nach dem heutigen Standpunkt der Forschung behaupten läßt.

Devon.

Wer den Rhein zwischen Bingen und Bonn befährt und an den malerischen Bergformen des engen Stromtals sein Auge erfreut, könnte auf den Gedanken kommen, was er sieht, sei nur der kleine Teil eines felsigen Berglandes, dessen schroffe, von kühnen Zinnen und Graten gekrönte Ketten sich zu beiden Seiten des Stromes weit ins Inland fortsetzten. Besteigt der Reisende aber einen der zahlreichen Aussichtspunkte am Mittelrhein, etwa die Fleckertshöhe bei Boppard oder den Loreleifelsen, so gewahrt er zu seiner Überraschung, daß hier oben das Bild ganz anders ist. Er sieht hinein in die tiefe, gewundene Spalte des Rheinstroms, aber darüber auf allen Seiten nichts als langweiliges, endlos ausgedehntes Hügelland, von dem sich nur in äußerster Ferne, kaum kenntlich, einige vulkanische Kegelberge der Eifel und des Westerwaldes abheben. Ein Plateau, oberflächlich der pommerschen Hügellandschaft oder den öden Hochflächen der Schwäbischen Alb zum Verwechseln ähnlich, aber (hier liegt der Unterschied) geologisch von ganz anderem Ursprung und Bau. Der Reisende, der sich so gröblich enttäuscht fühlt, hatte im Grunde recht. Was er hier überblickt, ist wirklich ein uraltes Hochgebirge, in kühnster Weise geformt und aufgetürmt, doch schon vor Jahrmillionen abgehobelt und dem Boden gleichgemacht, äußerlich ein scheinbar ganz einfacher Bau, im Innern ein toller Wirrwarr zusammengepreßter und durcheinandergeschobener Schichten. Was wir „Rheinisches Schiefergebirge" nennen, ist ein Teil der „Mitteldeutschen Alpen", besser gesagt: der Rumpf eines Teils. Während aber die meisten überreste jenes karbonischen Hochgebirges aus einer bunten Mannigfaltigkeit von Gesteinen bestehen (man denke an den Thüringer Wald, an die Vogesen), überrascht das Rheinische Schiefergebirge durch ungemeine Eintönigkeit. Es sind fast ausschließlich devonische Schichten, die das weite Gebiet von Wiesbaden bis Elberfeld, von Bingen und Trier bis Aachen zusammensetzen, nur auf den öden Hochflächen des Hohen Venn ragt eine Insel noch älterer Schichtgesteine aus dem Devon hervor. Dazu kommen freilich die zahlreichen Durchbrüche tertiärer Vulkane, die in der Eifel und im Westerwald das Plateau stellenweise siebartig durchlöchern, im ganzen aber doch räumlich beschränkt bleiben. Sonach ist das Devon für den geologischen Bau Westdeutschlands von der größten Wichtigkeit, und wir müssen uns schon etwas näher mit seinem Charakter bekannt machen.

Wie viele Jahrmillionen mögen verflossen sein, seitdem an Stelle des heutigen Rheinpreußens ein weites Meer wogte, auf dessen Grunde die devonischen, später in den „Rheinischen Alpen" aufgestauten und zusammengepreßten Schichten sich niederschlugen? Wir wissen, daß die Antwort ihre Schwierigkeit hat, und um uns nicht den Vorwurf maßloser Übertreibung zuzuziehen, wollen wir die kleinste mögliche Schätzung angeben: etwa zwanzig Millionen Jahre. Wem das nicht genug ist, der mag die Ziffer nach Belieben multiplizieren, widerlegen wird man ihn nicht können. Doch sind zwanzig Jahrmillionen genug, um den Geologen zu entschuldigen, daß er über manche

*) Dieser könnte auch durch starke vulkanische Ausbrüche eine Vermehrung erfahren. Der Vulkanismus würde dann, statt erwärmend, geradezu abkühlend wirken.

Verhältnisse einer so nebelgrauen Vorzeit wenig zu sagen weiß. So ist z. B. die Verteilung der devonischen Länder und Meere sehr ungenügend bekannt. Man kann mit einiger Bestimmtheit nur sagen, daß die Tethys, das große Mittelmeer, schon damals existierte, daß es im Süden begrenzt war von einem riesigen Kontinent, der vielleicht Südamerika, Afrika, Australien und alle dazwischenliegenden Meere umfaßte, während im Norden, an Stelle des heutigen Atlantischen Ozeans, ein viel kleineres Festland lagerte. Ist dies richtig, so wäre in geographischer Hinsicht die Devonzeit genau das Gegenstück der unsrigen, in der, wie bekannt, die Hauptwassermassen auf der Südhalbkugel angesammelt sind.

Der große Südkontinent hat zunächst noch viel Hypothetisches, besser studiert ist die nördliche „Atlantis". Sie reichte bis Schottland und Skandinavien herüber, und hier gab es große Süßwasserseen, in denen ganz abenteuerliche Fische ihr Wesen trieben. Sie zeichneten sich dadurch aus, daß Kopf und Vorderrumpf durch große, emailbedeckte Knochenplatten gepanzert waren, während den hinteren Teil des Körpers rhombische Schmelzschuppen bedeckten. Eine der seltsamsten Formen war Pterichthys (Abb. 58), mit langen, flügelähnlichen, ebenfalls gepanzerten Brustflossen, derentwegen man das Tier ursprünglich als ein Übergangsglied zwischen Fisch und Vogel deutete. Höchst merkwürdig sind auch die brillenartigen, in einer Spalte oben auf dem Kopf gelegenen Augen. Andere Gattungen (Coccosteus) waren dem

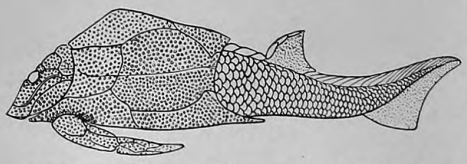


Abb. 58. Pterichthys Milleri, aus dem schottischen Old Red.

Aussehen nach fischähnlicher, erinnern aber in vielen Einzelheiten des Knochenbaus, namentlich in der freien Beweglichkeit des Kopfes, an die Panzerlurche oder Stegozephalen (S. 52). Sehr häufig findet man nur die losen Knochenschilder der Tiere, vom Pteraspis z. B. ist wohl das trichterförmige, vorn zu einem spitzen Schnabel ausgezogene Panzergehäuse bekannt (Abb. 59), aber vom Körperbau des Fisches, der darin gelebt, weiß man so viel wie nichts.

Ob die gepanzerten Schwimmer der Devonzeit wirklich durchweg als Fische bezeichnet werden dürfen, ist noch keineswegs ausgemacht. Manche, wie Coccosteus, stehen offenbar schon hart an der Grenze, wo der Fisch aufhört, und das Amphibium beginnt. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß hier in der Nähe der Ursprung der Panzerlurche und damit auch vieler Reptilien zu suchen ist, aber die bisherigen Funde reichen nicht aus, um die devonischen Panzerfische als direkte Vorfahren der karbonischen Panzerlurche erscheinen zu lassen.

Abb. 59. Panzer des Pteraspis, restauriert nach einem in Galizien gefundenen Exemplar.

Die devonische „Atlantis" dürfte zum großen Teil ein Wüstenland gewesen sein. Man trifft in England und Schottland ausgedehnte, sehr mächtige Schichten roter und grauer Sandsteine, die auffallend an unseren Buntsandstein erinnern und gleich diesem wohl als alter Wüstenboden aufzufassen sind. Sie führen bei den englischen Geologen die Bezeichnung Old Red „Alter Roter", zu ergänzen „Sandstein". In salzigen Seen dieses Wüstengebietes, in Lagunen und seichten Meerbusen lebten die abenteuerlichen Panzerfische, ferner Lungenfische, Verwandte des australischen Barramunda (Ceratodus), der während der heißen Jahreszeit, wenn das Wasser der vertrocknenden Flüsse für die Kiemenatmung zu schlammig wird, seine Schwimmblasen als Lungen benutzt. Diese merkwürdigen Fische sind zweifellos aus der Anpassung an ein Wüstenklima hervorgegangen, der Barramunda kommt auch im deutschen Keuper vor. Einige Schmelzschupper und riesenhafte Krebse vervollständigen das Bild der Old-Red-Tierwelt; die reiche niedere Lebewelt der devonischen Ozeane hat sich in das gefährliche, häufig austrocknende und versandende Grenzgebiet nicht hineingewagt.

Wir dürfen sonach für die Devonzeit ein ziemlich trockenes Klima annehmen, das zur ewigen Feuchtigkeit der Steinkohlenperiode in schroffem Gegensatz stand. Mit dieser Auffassung stimmt die Spärlichkeit der devonischen Pflanzenwelt vortrefflich überein. Es gab wohl Bärlappbäume, Farnsträucher, Riesenschachtelhalme, Araukarien, aber nach unseren heutigen Kenntnissen sind sie nirgends in solchen Massen aufgetreten, die zur Bildung von Steinkohlenflözen ausgereicht hätten. Anders sah es in den Meeren aus, wo stellenweise ein solcher Algenreichtum herrschte, daß der absterbende

Tang sich auf dem Grunde zu kohligen Lagen anhäufen konnte.

Werfen wir nun noch einen Blick auf die Tierwelt der Devonmeere! Sie gleicht in ihren Grundzügen der karbonischen, daher wird es genügen, auf einige Verschiedenheiten aufmerksam zu machen. Vergebens sucht man in der Devonformation nach den aufgeschichteten Schalenmassen jener winzigen Kammerlinge, denen der Kohlenkalk zum größten Teil seine Entstehung verdankt, sie treten in älteren Schichtgruppen überhaupt nicht auf. Auch die hübschen Knospenstrahler sind ungemein selten. Dafür waren die Meere belebt von sonderbar gestalteten Krustern, den Dreiklappkrebsen oder Trilobiten (vgl. Abb. 63), doch befand sich dieses einer verborgenen Urzeit entstammende Geschlecht damals schon im Niedergang; seine Hauptblüte fällt ins silurische Weltalter, bei dessen Besprechung wir auf sie zurückkommen.

Schon öfters wurde eines anderen hochseebewohnenden Stammes gedacht, der Armfüßer oder Brachiopoden, die im Altertum der Erde viel reicher entwickelt und weiter verbreitet waren als in späteren Zeiten. Heute im Aussterben begriffen, von Muscheln und Schnecken ganz zurückgedrängt, übertrafen sie umgekehrt in den paläozoischen Meeren die Weichtiere bedeutend an Zahl und Formenfülle. So sehr auch ihr Aussehen an Muscheln erinnert, besitzen sie doch einen ganz abweichenden Bau der Schale wie des Weichkörpers. Die Symmetrie ist, wie schon eine flüchtige Betrachtung lehrt (vgl. Abb. 60), eine ganz andere. Eine Muschel kann man in zwei gleiche Hälften zerlegen, wenn man das Messer der Länge nach durch den Spalt zieht, also das Tier zerschneidet, ohne die Schalen zu verletzen. Die Klappen der Armfüßer aber zeigen ungleiche Größe und Gestalt, die größere ist häufig durchbohrt, um den Austritt des Stiles zu gestatten, mit dem die Tiere am Meeresboden festgewachsen sind. Daher muß bei ihnen der Schnitt quer durch die beiden Klappen und die Stielöffnung geführt werden, wenn man zwei einander entsprechende Hälften bekommen will. Man kann diesen Unterschied auch so ausdrücken: die Muscheln haben ihre Schalen links und rechts, die Armfüßer vorn und hinten, d. h. auf der Bauch- und Rückenseite.

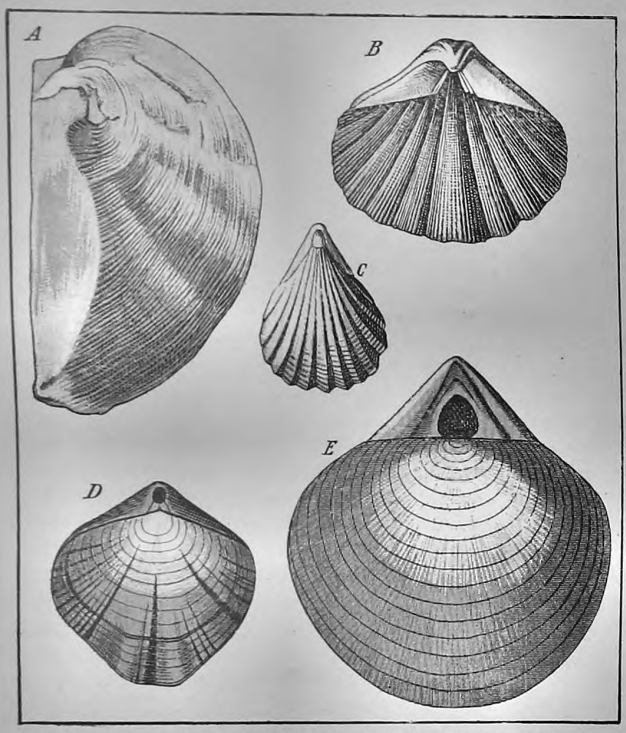


Abb. 60. Brachiopoden (Armfüßer) aus verschiedenen Formationen.

A Productus cora, Oberkarbon. B Spirifer plicatellus, Obersilur. C Rhynchonella cuneata, Obersilur. D Terebratula vulgaris, Muschelkalk. E Stringocephalus Burtini, Devon.

Der innere Bau der Armfüßer weicht durch den Besitz eigentümlicher Atmungsorgane (der sog. Arme) sehr erheblich von dem der Muscheln ab. Zwei große fleischige, meist spiral aufgerollte Kiemen füllen den Hauptteil des Schalenraums; sie sind bei versteinerten Formen natürlich nie erhalten, wohl aber das feste Kalkgerüst, das ihnen zur Stütze dient. Es besteht im einfachsten Falle aus zwei kurzen Haken, wächst aber häufig zu mehrfach verschlungenen Schleifen aus oder nimmt eine den Kiemen entsprechende Spiralgestalt an (Abb. 61). Wo ein solches „Armgerüst" entwickelt ist, benutzt man es zur Unterscheidung der Familien und Gattungen; wenn es gänzlich fehlt, sind oft auf der Innenseite der Schale spiralige Eindrücke der fleischigen Kiemen zu sehen.

Während man aus dem Devon rund 1400, aus dem Silur gar 2500 Arten von Armfüßern kennt, ist ihre Zahl in der Gegenwart auf etwa 150 gesunken. Die bekannteste lebende Gattung ist die in europäischen Meeren weit verbreitete

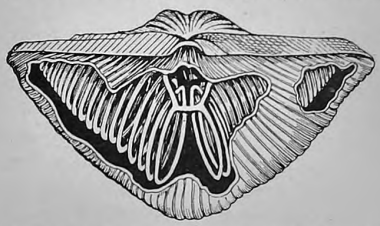


Abb. 61. Ein Armfüßer (Spirifer) mit aufgebrochener Schale, um das spiralig gewundene Armgerüst zu zeigen.

Terebratel, fälschlich auch Lochmuschel genannt (Abb. 62). Sie leben gesellig auf dem tieferen Meeresgrunde, haften mit ihrem Stiel an Steinen, Korallen, Krebsen und werden öfters in größerer Zahl durch das Schleppnetz heraufgebracht. Terebrateln kommen schon im Devon vor, zeigen aber erst seit der Triaszeit eine reichere Entwicklung; im Muschelkalkmeer Deutschlands hat, wie früher erwähnt, die „gemeine" Terebratel Bänke von ungeheurer Individuenzahl gebildet. Die zarten, glasartigen Schalen mancher heute lebenden Arten sind von außerordentlicher Schönheit.

Die Wirbeltiere der Devonzeit waren auf ihre niedrigsten Vertreter, die Fische, beschränkt; ob diese aber auch schon im offenen Weltmeer eine große Rolle gespielt haben, bleibt fraglich. Panzerfische und Schmelzschupper finden sich hauptsächlich in „Old-Red-Schichten", die in Binnenseen oder flachen Meeresbuchten zum Absatz gelangten. Aus dem ziemlich häufigen Vorkommen großer Flossenstacheln in den gleichen Schichten schließt man, daß es damals auch schon haiartige Knorpelfische gegeben habe.

Die vulkanische Tätigkeit war zur Devonzeit in einzelnen Gegenden recht lebhaft, z. B. im nördlichen Nassau, im Harz und Fichtelgebirge (die aber damals noch nicht existierten), während andere große Devongebiete, so die russischen und amerikanischen, vollkommen ruhig blieben. Was uns an Lava- und Tuffschichten aus jener Periode erhalten ist, scheint durchweg unterseeischen Vulkanausbrüchen zu entstammen, die gelegentlich Inseln in den Devonmeeren aufgeschüttet haben mögen. Für die gewaltige Länge der mindestens drei Jahrmillionen umfassenden Devonzeit ist die Menge der geförderten Lavamassen keineswegs bedeutend, was festgestellt zu werden verdient gegenüber der weitverbreiteten Ansicht, die vulkanischen Erscheinungen würden um so großartiger, je weiter man die Erdgeschichte zurückverfolgt.

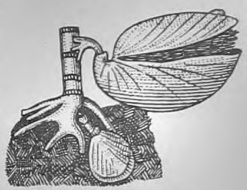


Abb. 62. Lebende Terebratel.

Silur.

Wenn soeben vom Devon bemerkt wurde, daß es einen außerordentlichen Zeitraum umfaßt, so gilt dies in noch höherem Grade für die nächstältere, die silurische Periode. Dafür spricht zunächst die ungeheure Mächtigkeit dieser Formation, die in Schottland bis auf 9000 Meter anschwillt, während dem Devon im Höchstfall 6000 zukommen. Ferner bekundet die jüngere silurische Tierwelt gegenüber der älteren einen so entschiedenen Fortschritt, daß man eigentlich berechtigt wäre, die spätere Silurzeit als selbständige Periode von der früheren zu trennen. Das Erscheinen und Wiederverschwinden ganzer Sippen, wie der Graptoliten und der meisten Beutelstrahler (Zystideen), die häufige Aufeinanderfolge sich gegenseitig ablösender Tiergeschlechter, endlich die Herausbildung des ganz neuen Tierstammes der Wirbeltiere, dieses ganze mannigfaltige Werden und Vergehen erforderte zu seiner Vollendung zweifellos Zeiträume von ungeheurer Dauer. Fünf Jahrmillionen wird man der Silurzeit unbedenklich zusprechen können, wahrscheinlich ist diese Zahl noch zu niedrig gegriffen.

Der Name „Silur" bezieht sich auf die alten Silurer, einen keltischen Volksstamm, der dem Eindringen der Römer in Britannien tapferen Widerstand entgegensetzte. Im früheren Gebiet dieses freiheitsliebenden Volkes und in benachbarten Landschaften Englands wurde die silurische Schichtenfolge zuerst studiert und in mehrere Abschnitte zergliedert. Auf deutschem Boden ist sie weniger reich entwickelt und viel später, zum Teil erst in den letzten Jahren, bekannt geworden.

Es hat sich nun herausgestellt, daß man in der Silurformation, ähnlich wie in der Kreide, eine nördliche und eine südliche Entwicklung

unterscheiden muß. Jene umfaßt ganz Nordeuropa einschließlich England und Belgien, diese ist am schönsten in Böhmen ausgeprägt, aber auch in Mitteldeutschland, den Alpen und Südeuropa nachgewiesen. Man könnte hierin einen Beweis für die Existenz von Klimazonen erblicken, wenn nicht gewichtige Gründe dagegen sprächen. Allem Anschein nach ist das „böhmische" Silur auf die genannten Länder Europas beschränkt und fehlt in anderen Weltteilen gänzlich. Aus der Neuen Welt und den Inseln des nördlichen Eismeeres, aber bezeichnenderweise auch aus Asien und Australien ist nur „nordisches" Silur bekannt. Diese weltweite Verbreitung einer nahe übereinstimmenden Tierwelt läßt auf eine recht gleichmäßig über die Erde verteilte Wärme schließen. Daß rings um den Nordpol ein warmes Meer flutete, folgt schon aus dem Auftreten von Korallriffen, die man im hohen Norden Amerikas wie auf Grönland (unter dem 80. Breitengrad!), in Skandinavien wie auf den neusibirischen Inseln überall in fast gleicher Ausbildung nachweisen konnte.

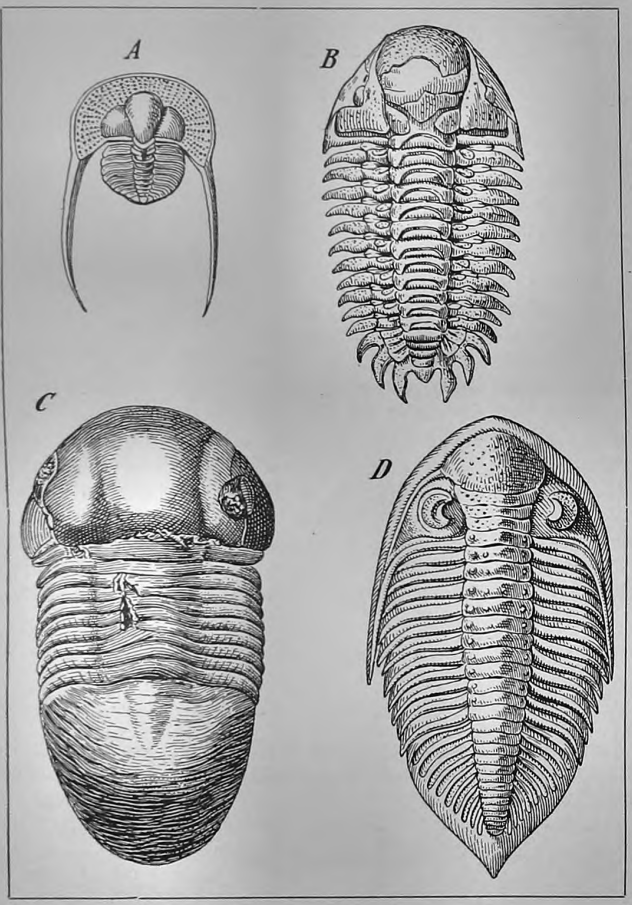


Abb. 63. Silurische Trilobiten.
A Trinucleus Goldfussi. B Cheirurus insignis. C Illaenus oblongatus. D Dalmania caudata.

Sonach wird man auf die Annahme silurischer Klimazonen verzichten und für das zweifache Gepräge der Formation eine andere Erklärung suchen. Auf jeden Fall müssen die Lebensbedingungen in beiden Gebieten recht verschieden gewesen sein. Im „böhmischen" Silur fällt vor allem die Armut an Kopffüßern auf, aber auch bei den anderen Tiergruppen ist die Zahl der mit den nordischen Ländern gemeinsamen Arten bemerkenswert gering. Wahrscheinlich wurde das böhmische Silur in einem vom Ozean fast ganz abgetrennten Binnenmeer, freilich einem recht großen, abgelagert. Hier schlug die Entwicklung eigene Bahnen ein und schuf eine Reihe Formen, die in den übrigen Gebieten unbekannt blieben. Ähnliches läßt sich ja noch heute in abgeschlossenen Becken, z. B. dem Schwarzen Meer, beobachten. Doch war die Trennung keineswegs vollständig, schmale Wasserstraßen öffneten sich von Zeit zu Zeit und ermöglichten es manchen Arten, in das eine oder andere Gebiet hinüberzuwandern.

Das Silur ist die älteste Periode eines wirklich reich entwickelten Tierlebens. Mit ihrem Beginn erscheinen auf dem Schauplatz der Erdgeschichte eine ganze Reihe großer und wichtiger Tiergruppen, die aus noch älteren Weltaltern gar nicht oder nur in spärlichen, unsicheren Funden bekannt sind: Korallen, Haarsterne, Kopffüßer, Skorpione, endlich ganz rätselhafte Schwimmpolypen, wegen ihrer an Schriftzeichen erinnernden Abdrücke Graptolithen, „Schriftsteine", genannt. Im jüngeren Silur kommen dazu die ältesten Wir-

beltiere, gepanzerte und ungepanzerte Knorpelfische, endlich riesige, mit den heutigen Schwertschwänzen oder Molukkenkrebsen entfernt verwandte Krustentiere. Man sieht, es handelt sich hier durchweg um Meeres- oder wenigstens Wasserbewohner (auch die silurischen Skorpione gehören dazu), von Landtieren ist nichts Sicheres bekannt, frühere Funde vermeintlicher Insekten haben sich als Irrtümer herausgestellt. Höchstens darf man bei einigen Formen eine amphibische Lebensweise voraussetzen.

Trotzdem war das feste Land nicht „unbelebt", die Pflanzenwelt hatte es schon erobert. Bärlappbäume, nicht die Schuppen- und Siegelbäume der Steinkohlenzeit, sondern ältere Formen mit sehr kleinen, weit getrennten Blattnarben und einige Farne bildeten die Pioniere des in ein unbekanntes Gebiet vordringenden Lebens. Im ganzen eine sehr ärmliche Flora, die wohl auf sumpfige Niederungen beschränkt war und auch dort nicht entfernt die Üppigkeit der späteren Steinkohlenwälder zeigte.

Unter der silurischen Tierwelt treten einige Gruppen durch besonders fremdartiges Aussehen sehr auffällig hervor. Da sind zunächst die Trilobiten, „Dreilapper" oder Urkrebse.

Wie der Name andeutet, sind diese seltsamen Kruster dreifach geteilt, und zwar sowohl der Länge wie der Quere nach (Abb. 63). Eine so regelmäßige Gliederung ist in der heutigen Krusterwelt unbekannt, am nächsten kommen den Trilobiten noch die Molukkenkrebse, bei denen aber das Schwanzschild zu einem langen Stachel umgebildet ist, und manche im Meer lebende Asseln. Übrigens ist auch bei den Trilobiten die Symmetrie starken Schwankungen unterworfen. Da gibt es „Wasserköpfe" mit unförmlich großem und dickem Kopfschild, andere, bei denen das Schwanzschild zu einer ganz kleinen Platte zusammenschmilzt, noch andere mit kaum sichtbarer Längsgliederung usw.

Die Trilobiten waren zur Silurzeit schon ein uraltes Geschlecht, das auf eine Entwicklung von vielen Jahrmillionen zurückblicken konnte. Sie hatten durch Anpassung eine Reihe von Eigenschaften neu erworben, darunter auch eine dem Paläontologen sehr unbequeme. Bei Gefahr rollten sie sich zu scheinbar leblosen Kugeln zusammen, ähnlich wie es ihre entfernten Verwandten, die Kellerasseln, noch heutigentags machen. Sie schützten dadurch die zarten Organe der Unterseite vor Beschädigung, leider auch vor den Blicken des Geologen, der die Tiere meist in diesem „Igelzustand" auffindet (vgl. Abb. 64). Daher waren die feinen Anhänge der Unterseite, Beine, Fühler, Kiemen- und Kaufüße lange Zeit unbekannt, erst in den neunziger Jahren hat die Entdeckung einiger vortrefflich erhaltener Exemplare die nötige Aufklärung gebracht. Man weiß jetzt, daß die Trilobiten zweierlei Fortbewegungs-

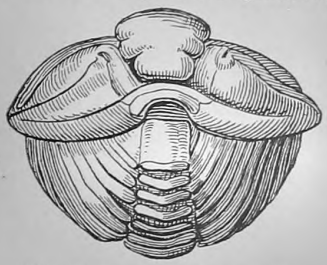


Abb. 64. Ein eingerollter Trilobit.

organe, Geh- und Schwimmfüße, besaßen, also befähigt waren, auf dem Grunde zu kriechen wie im Meer frei dahinzuschwimmen.

Eine merkwürdige Streitfrage knüpft sich an die Augen der Trilobiten. Bei den silurischen Formen finden wir zumeist große, facettierte, aus zahlreichen (bis zu 15000!) kugeligen Linsen zusammengesetzte Netzaugen (Abb. 65). Interessant ist es nun, daß diese Sehorgane erst im Lauf der Entwicklung erworben wurden; die vorsilurischen Trilobiten besaßen nur schwach angedeutete Augen oder waren ganz blind. Phantasiebegabte Köpfe haben daraus geschlossen, daß die Trilobiten in einem lichtlosen Zeitalter entstanden seien, die fabelhafte Theorie einer vormals „zum Schneiden" dicken Atmosphäre wurde auch hier wieder herangezogen. Ein anderer Erklärungsversuch geht dahin, die ältesten Urkrebse hätten ihr Leben, im Schlamm vergraben, zugebracht. Am einfachsten ist es wohl, sie als Tiere der Tiefsee zu betrachten. Dann hätte sich die älteste Stammesgeschichte der Trilobiten am Grunde der Ozeane, in ewiger Finsternis, abgespielt, und erst als sie in höheren Regionen heimisch wurden, wäre es unter dem Einfluß des Lichts zur Ausbildung der großen Facettaugen gekommen.

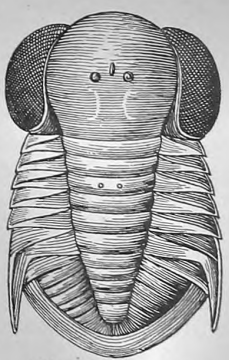


Abb. 65. Ein Trilobit (Aeglina) mit enorm großen Netzaugen.

Noch mehr Kopfzerbrechen haben den Natur-

forschern die Graptolithen verursacht. Auf den Schichtflächen silurischer Schiefer liegen oft massenhaft ihre feinen, bald an Sägeblätter, an gezähnte Schrauben und Flügel, bald an stachelige Pflanzen erinnernden Zeichnungen (Abb. 66). Ursprünglich wurden sie allgemein für Pflanzen gehalten, doch hat es auch nicht an Stimmen gefehlt, die sie für geheimnisvolle Inschriften längst verschollener Völker erklärten. Später hat man in ihnen Korallen, Moostiere oder gar Kopffüßer erblickt, heute ist ihre Zugehörigkeit zu den Quallenpolypen (Hydrozoen) sichergestellt. Aber von einer restlosen Erklärung ihres Rätsels ist man noch weit entfernt, unter anderem fragt es sich, ob diese vielgestaltigen Formen durchweg die gleiche Lebensweise hatten.

Am besten bekannt ist die Gattung Diplograptus, von der man im amerikanischen Silur

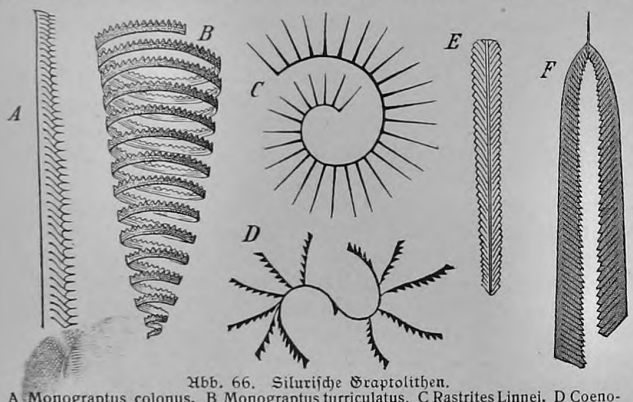


Abb. 66. Silurische Graptolithen.
A Monograptus colonus. B Monograptus turriculatus. C Rastrites Linnei. D Coenograptus gracilis. E Diplograptus palmeus. F Didymograptus Murchisoni.

ganze Kolonien gefunden hat. In der Mitte steckt eine viereckige Kapsel, von der schräg nach unten, wie die Bügel eines halb offenen Regenschirms, lange, zweischneidigen Sägen vergleichbare Stäbe ausstrahlen (Abb. 67). Jeder Sägezahn stellte die Zelle eines einzelnen Polypen vor. Das Ganze war gekrönt von einer lufterfüllten Schwimmblase, die ein Kranz dicker Eikapseln umgab.*) Die Kolonie schwamm nach Art einer Seeblase (Physalia) auf dem Meere, besaß aber wohl kein eigenes Fortbewegungsvermögen, sondern trieb mit den Strömungen dahin, wodurch sich die weltweite Verbreitung vieler Graptolithen ungezwungen erklärt.

Noch viel Seltsames bietet die silurische Tierwelt, doch können wir an dieser Stelle nur noch zweier heute völlig ausgestorbener Sippen gedenken, der Beutelstrahler (Zystideen) und Geradhörner (Orthozeratiden). Erstere,

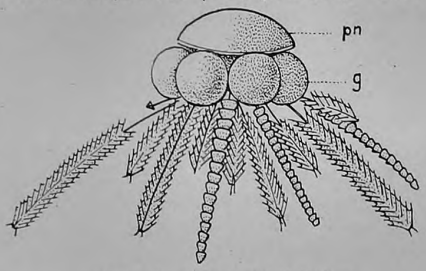


Abb. 67. Diplograptus-Kolonie
(pn Schwimmblase, g Eikapseln).

auch wohl Seeäpfel genannt, sind ein uralter Zweig der Stachelhäuter, wahrscheinlich die Vorläufer der Seelilien und Knospenstrahler, möglicherweise auch der Seeigel und Seesterne. Sie zeigen manche primitive Merkmale: schwache Entwicklung des Stiels und der Arme, die beide auch ganz fehlen können; als Atmungsorgane einfachster Art werden die zahlreichen auf dem Kelch oft in hübschen Rauten angeordneten Poren gedeutet. Der häufigste Beutelstrahler, eine Leitform für das untere Silur, ist Echinosphaerites aurantium (Abb. 68), die Apfelgestalt des Kelchs tritt hier sehr auffällig hervor; was wie ein kurzer Stiel aussieht, ist der Mund des Tieres, den wirklichen Stiel vertritt eine kaum sichtbare Haftstelle. Man findet diese „Kristalläpfel"

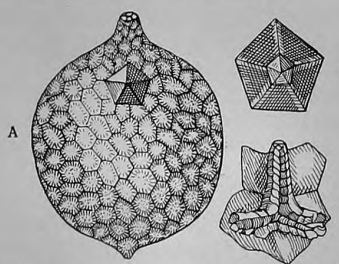


Abb. 68. Echinosphaerites aurantium aus dem Untersilur bei St. Petersburg.
A Ganzes Tier (oben Mund, unten Stielansatz), B Afterpyramide, C Mund.

häufig in Geschieben der norddeutschen Tiefebene, die von den skandinavischen Gletschern der Eiszeit dorthin verfrachtet wurden.

*) Einen ähnlichen Aufbau zeigen die von Haeckel beschriebenen, in der Tiefsee lebenden Stephalien. Vgl. Brehms Tierleben Bd. X. S. 553.

Die Geradhörner (Abb. 69) sind altertümliche Verwandte des Perlboots (Nautilus), von dem sie sich nur durch gerade oder einfach, nicht spiral gekrümmte Gehäuse unterscheiden, während der innere Aufbau aus zahlreichen, von einem Sipho durchbohrten Kammern hier wie dort die gleichen Grundzüge aufweist. Eine merkwürdige Vereinigung der beiden Sippen ist der Bischofsstab (Lituites, Abb. 70), in der Jugend ein Nautilus, später sich geradeaus mächtig in die Länge streckend. Manche Geradhörner sind wahre Riesen, bis zu zwei Meter lang, und müssen bei Lebzeiten zu den gefährlichsten Räubern der silurischen Meere gehört haben.

Bei aller Seltsamkeit enthält die silurische Tierwelt doch keinerlei Formen, die auf wesentlich andere Lebensbedingungen schließen ließen als heutzutage. Nicht die geringsten Anzeichen liegen vor, daß etwa damals die Meere lauwarm und von anderem Salzgehalt, die Luft dick und schwer, voller Kohlensäure und Wasserdampf, das Erdreich noch bis in seine obersten Schichten vom inneren Feuer erwärmt gewesen sei, vielmehr deutet alles, was wir von der lebendigen wie leblosen Natur jener Urzeit wissen, auf einen dem heutigen sehr ähnlichen Zustand unseres Planeten. Die Schichtabsätze der silurischen Meere unterscheiden sich in nichts von denen viel späterer Perioden, müssen daher wohl unter fast gleichen Bedingungen entstanden sein. Wir werden bald sehen, daß dieser Satz auch für noch weit ältere Erdepochen Gültigkeit besitzt.

Ein interessantes, aber ungemein schwer zu entzifferndes Blatt der Erdgeschichte handelt von der silurischen Gebirgsfaltung. Bedeutende Überreste zu finden, wird man nicht erwarten; sind schon die Hochgebirge der viel späteren Steinkohlenzeit nur noch in einzelnen Bruchstücken erhalten, während alles übrige im Meer versunken liegt oder unter kilometerdicken Schichten jüngerer Gesteine begraben ist, — wieviel gründlicher wird dann die Zeit mit den etliche Jahrmillionen älteren silurischen „Alpen" aufgeräumt haben! Im Gegenteil, es muß als ein Wunder erscheinen, daß überhaupt noch Trümmer davon existieren, ja daß sie, wie in Skandinavien, als stattliche Hochgebirge zum Himmel ragen. Letzteres hängt mit späteren Hebungen zusammen, deren Geschichte hier nicht näher verfolgt werden kann. Zur Silurzeit reichte ein zusammenhängendes Kettengebirge von Skandinavien über Schottland nach Irland und wahrscheinlich noch weiter südwestlich, jenseits der „grünen Insel" aber ist alles im Atlantischen Ozean versunken. E. Sueß hat diesen uralten Ketten den Namen „kaledonisches Gebirge" beigelegt. Sie waren im Devon schon so weit abgetragen und erniedrigt, daß die Old-Red-Sandsteine sich auf ihnen ablagern konnten.

In der mitteleuropäischen Gebirgswelt ist der Böhmerwald eine fremdartige Erscheinung. Er paßt weder in die tertiären noch in die karbonischen Faltenzüge, vielmehr läßt sich

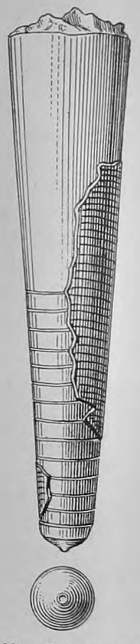


Abb. 69. Orthoceras timidum, aus dem böhmischen Obersilur, mit 15 Kammern und teilweise erhaltener Schale.

Abb. 70. Lituites lituus. Aus untersilurischen Geschieben Ostpreußens.

beobachten, wie schon die Ketten der Steinkohlenzeit an seinen Massen eine Stauung erleiden und aus ihrer Richtung abgelenkt werden. Die faltende Kraft fand hier ein Hindernis, das sie nicht bewältigen, nur umgehen konnte, wie sich aus dem bogenförmigen Verlauf des Erzgebirges und der Sudeten ergibt. Der Böhmerwald muß also älter als die Steinkohlengebirge sein; ob er aber der Silurzeit oder einer noch früheren Periode entstammt, ist nach unseren heutigen Kenntnissen nicht zu entscheiden.

Auch in anderen Erdteilen hat man die Wege der silurischen Gebirgsfaltung zu ver-

folgen gesucht, ist aber dabei nur zu sehr unvollkommenen Ergebnissen gelangt. Die Spuren sind eben zu verwischt, um noch eine leidlich klare Übersicht zu gestatten. Daß manche jener Hochgebirge auch Gletscher getragen haben, geht aus schottischen Funden hervor, aber wenn einige Geologen daraus auf eine silurische Eiszeit geschlossen haben, so scheint das doch zu weit zu gehen.

Die europäischen Meere waren auch in der Silurzeit der Schauplatz großartiger Vulkanausbrüche. Über den Meeresboden ergossen sich gewaltige Lavaströme, gleichzeitig wurden ungeheure Massen vulkanischer Aschen und Schlacken ausgeworfen, die von den Wellen hierhin und dorthin geführt, mit Sand und Schlamm vermengt und schließlich ebenfalls auf dem Grunde abgesetzt wurden. Trat eine Ruhepause ein, so kamen über den vulkanischen Schichten wieder die gewöhnlichen tonigen und kalkigen Sinkstoffe des Meeres zur Ablagerung. Auf solche Weise entstand in manchen Gegenden eine bunte Schichtenfolge, aus dem alten vulkanischen „Grünstein" und seinen Tuffen, aus schwarzen Tonschiefern, Grauwacken und Sandsteinen in mehrfacher Wiederholung aufgebaut, wie man es z. B. im Silur des Erz- und Fichtelgebirges beobachten kann.

Kambrium.

Spuren einer älteren Lebewelt als der silurischen sind auf deutschem Boden nur spärlich erhalten. Anders in Nordeuropa und Großbritannien, vor allem aber in Nordamerika, wo es im Lauf der letzten Jahrzehnte gelungen ist, eine für so entlegene Zeiten überraschend mannigfaltige, wenn auch sehr primitive Tierwelt nachzuweisen. Die Schichten, in denen sie vorkommt, bezeichnet man als Kambrium

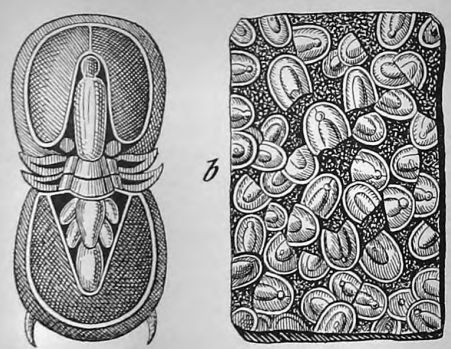


Abb. 71. Agnostus pisiformis aus dem schwedischen Kambrium (a vollständiges Exemplar, sehr stark vergrößert; b Schieferplatte mit losen Kopf- und Schwanzschildern, schwach vergrößert).

(nach Cambria, dem alten Namen für das jetzige Wales), sie wurden im Lauf eines Weltalters abgelagert, das an Länge zweifellos dem silurischen gleichkam. Das Kambrium ist nicht die älteste versteinerungführende Formation, wohl aber die früheste, von deren Lebewelt wir einigermaßen sichere Kunde haben.

Versuchen wir, uns das Aussehen der Erde zur kambrischen Zeit vorzustellen, so ergibt sich ein ganz eigentümliches Bild.

Traurige, grenzenlose Öde breitet sich über die Welt. Das feste Land eine einzige, ungeheure Wüste, jeglichen Pflanzenschmuckes bar, weite Niederungen, bedeckt von roten, viele Meter dicken Sandmassen, die der Wind nach Gefallen zu mächtigen Dünenkämmen anhäuft und in alles verfinsternde Staubwolken auseinanderbläst, die Gebirge nicht minder öde, trostlose Felslabyrinthe, Gehänge und Täler weithin überschüttet von nacktem Geröll, das jeder starke Regenguß unaufhaltsam in die Tiefe reißt. Nicht die winzigste Flechte überkleidet den Felsblock, nicht das unscheinbarste Gräschen wächst am Ufer des eintönig dahinrauschenden Stromes, kein Fisch, kein Krebs spielt in den Wellen des Binnensees, und ebenso tot ist die Luft, kein Mückentanz, kein Summen, kein Flügelschwirren. Es gehört viel Phantasie dazu, sich die ganze Trostlosigkeit dieser Welt vorzustellen. Anders aber wird es, wenn wir den Strand des Meeres betreten. Im feuchten Sande liegen sonderbare Schalen, hier ist eine, die wie eine Zipfelmütze aussieht, dort eine von der Gestalt eines dreieckigen Köchers; überall finden wir reichliche, kleine, manchmal kaum linsengroße Schalen von Armfüßern und Kopf- und Rückenschilder von Trilobiten. Ja, da hat die Flut einen ganzen „Dreilapper" angespült und, o Wunder, er liegt flach da, hat sich nicht eingerollt, ein stark bewehrtes Tier mit langen Stacheln am Kopf und Schwanz und einer Menge kleiner Dornen am Rückenschild. Auch Schalenkrebse fehlen nicht und buntfarbige Quallen, und wenn es das Glück will, finden wir auch einen „Seeapfel", aber umsonst bleibt alles Suchen nach Fischen, sie tummelten sich noch nicht in den kambrischen Meeren.

Bezeichnend für die kambrische Tierwelt ist die Kleinheit fast aller Formen. Was man bislang an Armfüßern, an Muscheln und echten Schnecken gefunden hat, ist durchweg zwerghaft, und dasselbe gilt von manchen Trilobiten, wie dem winzigen Agnostus, dessen lose, kaum leinkorngroße Kopf- und Schwanzschildchen die Oberfläche kambrischer Schichten oft in ungeheuren Massen bedecken (Abb. 71). Daneben aber hat der Trilobitenstamm auch ansehnliche große Formen hervorgebracht, manche, wie der gehörnte Paradoxides (Abb. 72), erreichten die Länge eines halben Meters. Die kambrischen Dreilappkrebse standen augenscheinlich auf einer weit niedereren Entwicklungsstufe als die silurischen. Die meisten waren blind oder konnten nur sehr unvollkommen sehen (diese merkwürdige Erscheinung wurde schon oben besprochen), auch hatten sie das Einrollen, das Sichtotstellen, noch nicht gelernt, was die großen Arten auch wohl entbehren konnten, da es in den kambrischen Meeren schwerlich Tiere gab, die sie zu fürchten brauchten. Auffallend ist bei vielen die Kürze des Schwanzschildes, das nur als kleine Klappe ausgebildet oder in einen Schwanzstachel umgewandelt ist. Eine Ausnahme macht der winzige Agnostus mit etwa gleich großem Kopf- und Schwanzstück, aber stark verkleinertem Mittelkörper. Unseren heutigen Kenntnissen nach gab es neben den Trilobiten nur eine einzige Tiergruppe, deren Vertreter die allgemeine Kleinheit der Lebewelt überragten: die sonderbaren Köchertiere oder Hyolithen (vgl. Tafel „Kambrische Versteinerungen" 5). Was für Geschöpfe eigentlich in den langen, dreikantigen Kegeln steckten, ist ganz ungewiß; manche Paläontologen reihen sie den Ruderschnecken (Flossenfüßern), andere den Kopffüßern an. Sie müssen in den kambrischen Meeren ziemlich häufig gewesen sein, standen aber doch hinter den Armfüßern zurück, die als zweitwichtigste Gruppe auf die Trilobiten folgen. Auch die kambrischen Armfüßer stehen auf einer ziemlich niedrigen Stufe, es sind überwiegend hornschalige, schloßlose Formen, während in den späteren Zeitaltern, schon vom Silur an, die kalkigen, mit einem Schalenschloß versehenen das Übergewicht erlangen. Höchst merkwürdig ist die außerordentliche Lebensfähigkeit mancher hornschaliger Gattungen. Lingula, die „Zungenmuschel" (Abb. 73), tritt schon im Silur auf und hat sich durch all die Jahrmillionen mit ihrem mannigfachen Wechsel der Lebensbedingungen bis auf unsere Tage erhalten! Sie lebt heute in wärmeren Meeresstrichen nahe der amerikanischen Küste und ist besonders interessant durch ihren wurmartigen, die Schale neunmal an Länge übertreffenden Stiel, mit dem die Tiere Röhren im sandigen Meeresboden anlegen. Aus dem Kambrium ist Lingula noch nicht mit Sicherheit bekannt, wohl aber die sehr nahe verwandte Gattung Lingulella.

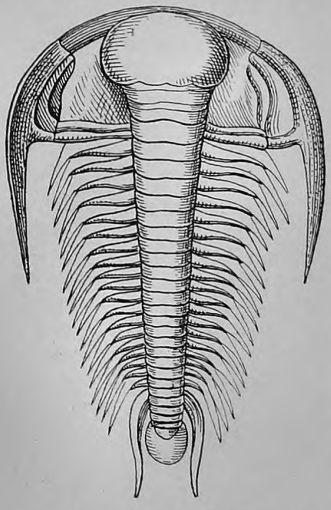


Abb. 72. Paradoxides bohemicus aus dem böhmischen Kambrium.

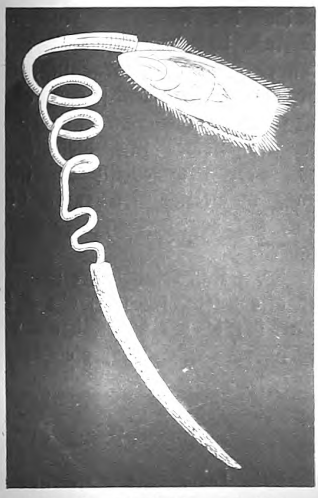


Abb. 73. Lebende Zungenmuschel (Lingula pyramidata). Natürliche Größe.

Schauen wir uns weiter unter der kambrischen Tierwelt um, so tritt deutlich hervor, daß wir hier den Anfängen des organischen Lebens schon ein gutes Stück näher gerückt sind. Von Stachelhäutern waren nur die tiefststehenden Beutelstrahler, von Schnecken, Muscheln und Kopffüßern nur einige kleine, meist noch nicht typisch gebaute Vertreter vorhanden. In den Krustern gipfelte damals der Stamm des Tierreichs, alles Höhere ruhte noch unentwickelt im Zeitenschoße. Welch gewaltiger Fortschritt sich allein bis zum Silur vollzog, lehrt die Tatsache, daß aus dieser Periode 10000, aus dem Kambrium aber höchstens 1000 tierische Arten

bislang bekannt geworden sind. Trotzdem darf man nicht vergessen, daß die kambrische Tierwelt im ganzen schon ein recht mannigfaltiges, hoch spezialisiertes Gepräge besitzt. Alle Hauptstämme der Wirbellosen sind vertreten und von den meisten auch mehrere Unterstämme. Von Trilobiten allein kennt man etwa 300 Arten (im Silur 1400). Diese bemerkenswerte Organisationshöhe führt mit Notwendigkeit zu dem Schluß, daß dem Kambrium ein unermeßlich langes Weltalter voranging, in dem sich das organische Leben von seinen ersten Anfängen bis zu jener verhältnismäßig hohen Stufe entwickeln konnte. Leider sind diese ältesten Urkunden des Lebens ungemein verwischt, größtenteils ganz unleserlich; was man bislang entziffert hat, soll der Leser im folgenden Kapitel erfahren.

Vom Kambrium wäre noch zu berichten, daß es allem Anschein nach ein Zeitalter der Ruhe war, ähnlich wie das Mittelalter der Erde, dem es auch an Länge fast gleichkommen mag. Von kambrischer Gebirgsbildung ist nichts einigermaßen Sicheres bekannt, und die vulkanische Tätigkeit war offenbar auf ein geringes Maß beschränkt, wenigstens gehören Lavadecken (Grünsteine) innerhalb der kambrischen Formation zu den seltenen Ausnahmen. Es ist sehr bezeichnend, daß uns schon an der Schwelle der ältesten Urzeit eine lange Periode begegnet, in der die Erdrinde sich annähernd im Gleichgewichtszustand befand, wie es ja auch heutzutage im großen und ganzen der Fall ist. Wir lernen daraus zweierlei, einmal, daß die frühere Lehrmeinung falsch ist, jene ältesten Zeiten seien eine ununterbrochene Folge furchtbarer Katastrophen gewesen, und zweitens, daß auch dem heutigen Ruhezustand aller Wahrscheinlichkeit nach in ferner Zukunft wieder große Umwälzungen folgen werden, mit andern Worten, daß die Erdgeschichte eine wiederholte Folge gleichartiger Zyklen ist, in denen Gebirgsfaltung, Vulkankatastrophen und Eiszeiten abwechseln mit Perioden friedlicher Ruhe.

Das eozoische oder algonkische Weltalter.

Wir haben das Altertum der Erde vom Perm bis zum Kambrium durchwandert und stehen nun an der Grenze der „Urzeit". Fast zögert der Fuß weiterzuschreiten. Bislang war unser Pfad stets leidlich erhellt, aber jetzt führt er in ein dämmeriges Land, wird undeutlicher von Schritt zu Schritt und verliert sich am Ende in tiefste Nacht. Nur vermuten können wir, wo er schließlich mündet. Aber ist es auch aussichtslos, bis zum Ursprung der irdischen Dinge vorzudringen, folgen wollen wir der Bahn doch, solange wir uns noch einigermaßen zurechtfinden. Wird es uns auch nicht gelingen, die Herkunft des Lebens zu erforschen, allerlei Ausblicke auf die Uranfänge der Erdgeschichte gewährt uns diese Wanderung immerhin.

Wie von vornherein feststeht, ist die vorkambrische Urzeit keine einheitliche Formation, sondern zerfällt allermindestens in zwei Hauptabschnitte: eine wirkliche Urzeit, in der es noch kein organisches Leben auf der Erde gab, und eine darauffolgende Epoche, in der das Leben sich allmählich vom Urtier bis zum kambrischen Kruster entwickelte. Jene führt den Namen azoisches, d. h. unbelebtes Weltalter, diese wird als eozoisches Weltalter bezeichnet, was soviel bedeutet wie „Morgenröte des Lebens", oder auch als „Algonkium", nach den Algonkin-Indianern im Süden der großen nordamerikanischen Seen, wo sich die mächtigsten und vollständigsten Ablagerungen dieser Formation finden.

Man sollte nun denken, die Abgrenzung der beiden Formationen voneinander sei leicht, weil sich doch in der einen Versteinerungen finden müßten und in der anderen nicht, aber das wäre ein starker Irrtum. Auch die eozoischen Schichten enthalten nur selten organische Reste, woran zum Teil jedenfalls die Armut der damaligen Lebewelt schuld ist; aber auch, wo solche vorkommen, sind sie oft ganz unkenntlich geworden, und in vielen Fällen ist gar nicht zu entscheiden, ob die winzigen Knoten, schalenförmigen Vertiefungen und sonstigen Eindrücke auf den Schichtflächen wirklich Reste von Lebewesen und nicht vielmehr zufällige, von Druck oder chemischen Vorgängen herrührende Gebilde sind. Diese schlechte Erhaltung der Versteinerungen ist eine Folge der sogenannten Metamorphose (Umwandlung) der Gesteine, die sich — wie in der Einleitung erwähnt — auf vulkanische Ursachen zurückführen läßt.

Wenn nun im eozoischen Weltalter die Metamorphose so ungemein wirksam war, müssen die Kräfte des Erdinnern besonders lebhaft an der Arbeit gewesen sein. In der Tat enthält in vielen Gegenden die eozoische Formation mächtige Zwischenlagen vulkanischer Gesteine, ja man

kann sagen, daß Massenausbrüche von solcher Ergiebigkeit und Ausdehnung, wie sie damals stattfanden, im späteren Verlauf der Erdgeschichte kaum wiederkehren. Als Beispiel seien die Keweenaw-Schichten*) vom Oberen See in Nordamerika genannt, eine ungeheure, stellenweise bis zu 10 km (!) mächtige Folge übereinander gebetteter Lavaströme. Die Umgebung des Oberen Sees ist weltbekannt durch ihren Reichtum an Kupfererzen, zumal gediegenem Kupfer, die innerhalb jener uralten Lavamassen vorkommen. Man findet dort gelegentlich Kupferklumpen im Gewicht von mehreren Zentnern, aus einer einzigen Mine (Calumet und Hecla) wurden im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts über 600000 Tonnen des wertvollen Metalls gefördert.

Aus jüngeren geologischen Perioden wissen wir, daß Vulkanismus und Gebirgsbildung Hand in Hand gehen, und finden dies auch im eozoischen Zeitalter bestätigt. Wie damals die vulkanischen Kräfte zu den gewaltigsten Äußerungen befähigt waren, so nahm auch die Faltung der Erdrinde riesige Dimensionen an. Es gibt nur wenige Gebiete, in denen die „algonkischen" Schichten ihre ursprüngliche flache Lagerung bewahrt haben, meist sind sie in stärkstem Grade gefaltet, aufgerichtet, zerrissen, über- und durcheinander geschoben. Während die Kontinente der Jetztzeit in der Hauptsache flaches oder schwach welliges Land sind, und Hochgebirgsketten nur einen verhältnismäßig kleinen Raum einnehmen, dürfen wir für jene Urzeit das entgegengesetzte Verhältnis annehmen: schroff aus dem Meer aufsteigende, von wilden Gebirgsmassen bedeckte, vielfach gegliederte und zerrissene Kontinente drückten dem Antlitz der Erde ihren Stempel auf.

Indessen ist zu beachten, daß dieses Bild nur für einen Teil des Algonkiums gilt. Als ein Zeitalter von unermeßlicher Länge hat es mannigfache Wandlungen der Erdoberfläche gesehen, dazu gehörten auch Perioden der Abtragung und Erniedrigung der Festländer während einer zeitweiligen Ruhe der unterirdischen Kräfte. In solchen Abschnitten scheinen sich die mächtigen Lager roten Sandsteins gebildet zu haben, die in der algonkischen Formation mindestens eine ebenso bedeutende Rolle spielen wie im Kambrium. Sie gleichen unserem Buntsandstein und sind offenbar, wie dieser, in trockenen, heißen Wüstenstrichen vom Winde zusammengeblasen.

*) So benannt nach der Halbinsel Keweenaw am Südufer des Oberen Sees.

Am leichtesten nachweisbar ist die eozoische Gebirgsfaltung in Gegenden, die später nicht wieder gefaltet wurden, z. B. in der chinesischen Provinz Schantung, in Finnland, Arizona und am Oberen See. Hier liegen dann gewöhnlich die ungestörten kambrischen Schichten nahezu wagerecht auf dem stark gefalteten und aufgerichteten Algonkium. Die genannten Gebiete sind heutzutage fast durchweg Flachland, die alten Kämme und Gipfel wurden schon gegen Ende der eozoischen Zeit abgehobelt und sanken allmählich unter den Spiegel des kambrischen Meeres, dessen Brandungswogen alle Höhenunterschiede ausglätteten. Anders in den Alleghanies, wo sich die Faltungen öfters wiederholten, zuletzt in der Steinkohlenzeit, so daß uns hier noch aufrechte algonkische Ketten entgegentreten. Der Gebirgszug scheint von Kanada über die Atlantis nach Schottland, Skandinavien und Finnland gereicht zu haben; Reste des im Ozean versunkenen Zwischenstücks sind uns in den Hebriden und Lofoten erhalten. Auch der Bayrische Wald soll dem gleichen Zuge angehören, aber sobald man in so häufig und stark gestörte Gebiete, wie Mitteleuropa, gelangt, hört fast jede Möglichkeit auf, die schwachen Spuren jener uralten Faltungen weiter zu verfolgen.

Im eozoischen Zeitalter entstand das *Leben* auf der Erde. Das wäre nach einer weit verbreiteten Meinung nur möglich gewesen unter Verhältnissen, die von den heutigen stark abwichen, andernfalls müßte man ja auch noch jetzt gelegentlich beobachten, wie tote Materie sich in lebendiges Protoplasma verwandelt. Da alle Versuche, eine „Urzeugung" im Laboratorium nachzuahmen, fehlschlugen, einschließlich der jüngsten, mit Hilfe des Wunderstoffes Radium vorgenommenen, glaubte man, auf ganz andere Bedingungen für die Entstehung des Lebens schließen zu müssen. *Lauwarme Meere* von rätselhafter Zusammensetzung sollten den Erdball umflutet haben, und in ihrem Schoß wären unter dem Schutz einer dichten, ewig gleich warmen Atmosphäre die ersten lebenden Protoplasmaklümpchen, der „Urschleim", entstanden, ganz in der Art, wie Kristalle sich aus der Mutterlauge abscheiden. Liefert nun die geologische Forschung irgendwelche Anhaltspunkte, die zugunsten dieser Hypothese sprechen?

Im eozoischen Zeitalter gewiß nicht. So lückenhaft unsere Kenntnisse auch sind, aus den bisherigen Forschungen geht mit Sicherheit hervor, daß die allgemeinen Verhältnisse jener entlegenen Urzeit durchaus nicht ungewöhnlich waren, ja in manchen Dingen zeigt sich eine

auffallende Übereinstimmung mit sehr späten Perioden der Erdgeschichte. Nicht der kleinste Umstand berechtigt zur Annahme einer höheren Temperatur oder fremdartigen Zusammensetzung der Meere; die eozoischen Schichtgesteine, Schiefer, Tone, Kalke, gleichen den Absätzen späterer Jahre auf ein Haar, und daß auch auf dem Festlande ähnliche Verhältnisse herrschen wie später, beweisen die weit verbreiteten roten Sandsteine, die sich mit stets gleich bleibendem Charakter vom Algonkium bis zur Trias in weit entfernten Landgebieten wiederholen. Wie stand es aber mit dem Klima? Nun, das wird im Lauf einer so langen Periode mehrfach gewechselt haben. Vom roten Sandstein ist wahrscheinlich, daß er unter einem trockenen, heißen Himmelsstrich abgelagert wurde. In schroffem Gegensatz dazu stehen Ablagerungen, die auf ein kalt-nasses Klima, auf ausgedehnte Vereisungen hinweisen.

Man bedenke: Gletscher, Inlandeis in einer der allerältesten erdgeschichtlichen Perioden! Vor kurzem hätte man dergleichen noch für vollständig unmöglich gehalten. Nahm man doch als feststehend an, daß Sonne wie Erde sich unaufhaltsam abkühlten, woraus sich als notwendige Schlußfolgerung ergab, daß es vor 50 Millionen Jahren (soweit mögen die Anfänge des Algonkiums zurückliegen) auf unserem Planeten beträchtlich wärmer war als heutzutage, jedenfalls so warm, daß Eisbildung an der Erdoberfläche ganz undenkbar schien. Nun ist neuerdings diese Lehre stark ins Wanken geraten, namentlich durch den Nachweis der weiten Verbreitung des wärmeerzeugenden Radiums in der Erdrinde, und an Stelle der allmählichen Erkaltung darf man wohl ein bleibendes Wärmegleichgewicht annehmen. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Entdeckung einer eozoischen Vereisung von hohem Interesse, besagt sie doch, daß schon in gewissen Zeitabschnitten des Algonkiums ähnliche Temperaturverhältnisse auf der Erde herrschten wie in der Jetztzeit, und liefert damit eine wertvolle Stütze für die Theorie vom Wärmegleichgewicht.

Die Ablagerungen der algonkischen Gletscher sind verhärtete Grundmoränen mit zahlreichen vom Eis geglätteten und gekritzten Geschiebesteinen. Merkwürdigerweise scheinen sie zwei ganz verschiedenen, durch Jahrmillionen getrennten Abschnitten der eozoischen Zeit anzugehören. Die jüngere „Eiszeit" liegt hart an der Grenze des Kambriums, ihre Spuren wurden am Jangtse in China und am Varanger Fjord in Finnmarken aufgefunden. In der letzten Gegend ist auch die alte, geglättete und gestreifte Felsunterlage des Gletschers sichtbar. Dürfte schon diese Vereisung bei Annahme der Abkühlungslehre schwer zu erklären sein, so scheint dies ganz unmöglich bei der älteren, die wirklich fast bis in die „glühende Urzeit" der Erde hinaufreicht. Ihre Moränen wurden im kanadischen Staat Ontario nachgewiesen, sie bilden dort einen Teil der tiefsten Schichtengruppe des Algonkiums, deren Gesteine größtenteils stark metamorphosiert und von vulkanischen „Gängen" durchsetzt sind. Unmittelbar darunter liegt das aus feurigem Schmelzfluß auskristallisierte granitische „Urgestein". Allem Anschein nach fällt also diese älteste bekannte Eiszeit mit einer stark vulkanischen Periode zusammen, wiederum ein Beweis gegen die angebliche Erwärmung des Klimas durch gesteigerte vulkanische Tätigkeit.

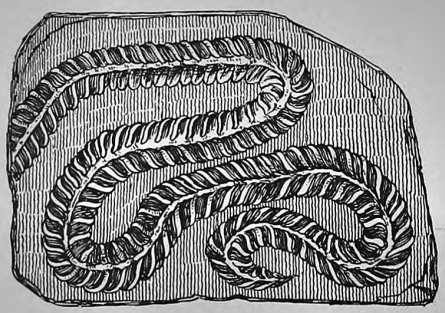
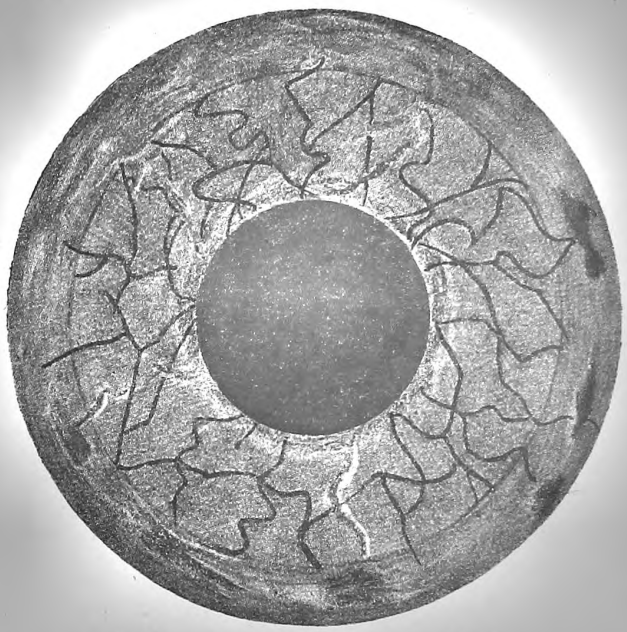


Abb. 74. Kambrischer Vereitenschiefer, Wales.

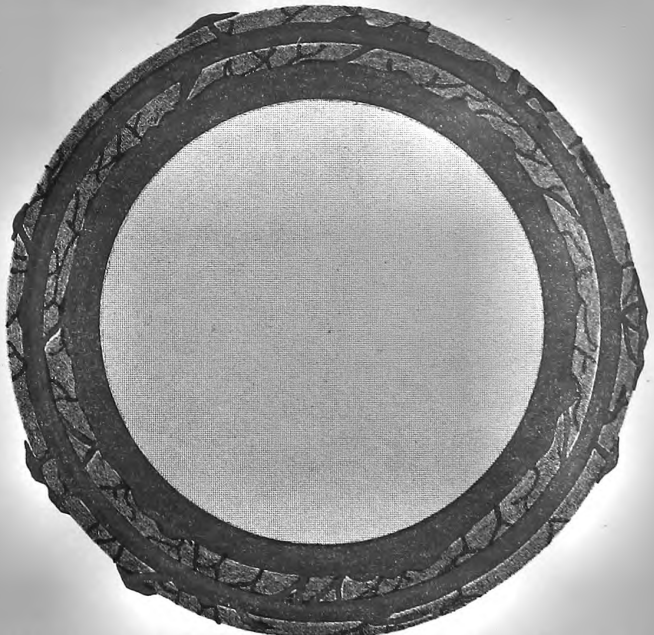
Man sieht: was von den allgemeinen Verhältnissen der eozoischen Zeit bekannt ist, spricht gegen die Vermutung, daß damals eine Urzeugung möglich gewesen sei. Nun könnte aber das Leben in der älteren, „azoischen", Periode entstanden sein, denn die allerersten Lebewesen waren zweifellos einzellige Urtiere ohne Schalen und sonstige Hartgebilde, daher keinesfalls versteinerungsfähig. Wenn also aus der azoischen Formation bislang keine Versteinerungen vorliegen, so ist das noch kein Beweis gegen die Existenz von Organismen. Andererseits scheint es ausgeschlossen, daß die algonkische Lebewelt die älteste unseres Planeten ist, weil sie dazu, wie wir gleich sehen werden, auf einer verhältnismäßig zu hohen Stufe steht.

Infolge des schlechten Erhaltungszustandes sind, wie oben bemerkt, viele eozoische Versteinerungen sehr problematisch, doch darf man das Vorkommen von Krebsen, Stachelhäutern (wahrscheinlich Beutelstrahlern) und korallen-



I. Bau des Erdkörpers nach Stübel

Im Innersten der noch feuerflüssige (gasförmige?) Zentralherd (rot), der nach außen hin allmählich übergeht in die mächtige, von zahllosen Eruptivkanälen durchbrochene „Erstarrungskruste" (grau). Die Kanäle münden in die Lavabecken, „peripherischen Herde", der „Panzerdecke", die als äußerste Rinde die Erstarrungskruste umschließt. Im gegenwärtigen Stadium ist die Mehrzahl der Verbindungskanäle (schwarz) geschlossen, daher sind die meisten peripherischen Herde vom Erdinnern abgeschnitten und verfallen langsamer Erstarrung. Durch einige wenige Kanäle (rot) finden jedoch von Zeit zu Zeit noch Nachschübe schmelzflüssiger Massen statt. (Vgl. Seite 76)



II. Bau des Erdkörpers nach Wiechert, Johnsen und von Wolff.

Die Erdkugel besteht aus zwei grundverschiedenen Teilen: einem Eisenkern (lichtgrau), über dessen Aggregatzustand nichts bekannt ist, und einem Steinmantel, den zwei schmelzflüssige (rot) und zwei feste Zonen (grau) zusammensetzen. In der inneren Schmelzzone dehnt sich die Lava beim Erstarren aus, hier ist der Sitz der vulkanischen Kräfte. Zahlreiche Eruptivkanäle durchbrechen die innere feste Zone und stellen die Verbindung mit der äußeren Schmelzzone her. Ausläufer der letzteren reichen weit in die äußerste feste Kruste hinein, stellenweise (unterhalb der noch tätigen Vulkane) bis nahe an die Erdoberfläche. (Vgl. Seite 77—78.)
(Auf beiden Abbildungen ist die äußerste Schale der Erdkruste, die Sedimentdecke, fortgelassen, da sie im Verhältnis zu den übrigen Zonen nur verschwindend geringe Mächtigkeit besitzt.)

ähnlichen Tieren, den auch im Silur und Devon häufigen, dann aussterbenden Stromatoporiden, als gesichert betrachten. Daß es im jüngeren Algonkium auch schon Trilobiten und hornschalige Armfüßer gab, darf als wahrscheinlich gelten, wurde aber bis jetzt noch nicht sicher nachgewiesen. Häufig sieht man sonderbar gewundene Wülste auf den Schichtflächen eozoischer Gesteine, genannt Nereiten oder Helminthoiden, sie kehren in allen späteren Formationen wieder und werden bald als Kriechspuren von Würmern, bald als Laichschnüre von Schnecken gedeutet. Abb. 74 gibt eine solche auf einem kambrischen Schieferstück befindliche Spur wieder.

Im ganzen zeigt sonach die eozoische Tierwelt den gleichen Charakter wie die kambrische. Daß sie, nach den erhaltenen Resten zu schließen, formenärmer war, hat durchaus nichts Überraschendes, eher könnte man sich darüber wundern, daß so verschiedenartige und zum Teil hoch organisierte Stämme, wie Gliedertiere, Würmer, Stachelhäuter und Hohltiere, schon in dieser ältesten Epoche des Lebens sich von den unbekannten Urformen getrennt und, jeder nach seiner Art, weiterentwickelt hatten. Es liegt in dieser Tatsache wiederum ein Beweis für die außerordentliche Länge des algonkischen Weltalters, das vielleicht für sich allein einen ebenso großen Zeitraum umfaßt wie alle nachalgonkischen Perioden zusammengenommen.

Als besondere Merkwürdigkeit sei noch das Auftreten eines Kohlenlagers im mittleren Algonkium Finnlands erwähnt. Es ist weitaus das älteste bislang bekannte Flöz und besteht aus durchschnittlich zwei Meter mächtigem Anthrazit. Die Frage nach seinem Ursprung ist kaum zu beantworten. Wenn es aus pflanzlichen Stoffen hervorgegangen ist, können nur Meeresalgen das Material geliefert haben.

Das azoische Weltalter und der Urzustand der Erde.

Wenn wir das algonkische Weltalter die Dämmerung der Erdgeschichte genannt haben, so ist damit angedeutet, daß alles Frühere und Ältere für uns in nächtlichem Dunkel begraben liegt. In der Tat hört fast jede sichere Erklärung des Beobachteten, jede Möglichkeit, zweifelsfreie Schlüsse zu ziehen, auf, sobald wir die Grenze der wirklichen Urzeit überschreiten. Man hat über den Urzustand der Erde und noch mehr über die Art und Weise ihrer Erstarrung die verschiedenartigsten Hypothesen aufgestellt, und die Deutung der beobachteten Erscheinungen wird dementsprechend verschieden ausfallen, je nachdem man die eine oder andere Hypothese zugrunde legt. Bevor wir einige hierfür bezeichnende Beispiele kennen lernen, sei die Frage beantwortet: Was läßt sich denn Tatsächliches über den ältesten Abschnitt der Erdgeschichte feststellen?

Unter den tiefsten Schichtgesteinen, mögen sie nun algonkisch oder kambrisch oder jünger sein, liegt überall das sogenannte Urgebirge. An seinem Aufbau nehmen zunächst mächtige Massen von Graniten und ähnlichen Felsarten teil, die aus feurigem Schmelzfluß auskristallisiert sind. Aber die Hauptmasse des Grundgebirges bildet ein vielgestaltiges und vielumstrittenes Gestein, der Gneis. Aus den gleichen Mineralien zusammengesetzt wie der Granit,*) unterscheidet er sich von ihm durch ausgesprochene Schieferung, d. h. seine Bestandteile liegen nicht regellos durcheinander, sondern sind in gesetzmäßiger Weise zu parallelen Lagen angeordnet. Eine Beschreibung seines Aussehens würde sehr langwierig ausfallen, er ist der reine Proteus. Viele Arten sind ebenso körnig und bunt gefleckt wie Granite, andere auf die mannigfachste Weise geflammt, durchadert und gebändert, noch andere einheitlich weiß, grau oder schwarz. Nur teilweise ist der Gneis gleicher Entstehung wie der Granit, also ein Feuergestein, das irgendwelchen, noch ungenügend bekannten Einflüssen seine Schieferung verdankt, bedeutende Gneislager sind im Gegenteil nichts anderes als metamorphosierte Schichtgesteine, „kristallin" gewordene Sandsteine, Tonschiefer usw. (vgl. Einleitung). Eine dritte Sorte Gneis ist wahrscheinlich aus der Vermischung der beiden anderen hervorgegangen: vulkanischer Schmelzfluß hat die Schichtgesteine durchtränkt und ihre Stoffe gelöst, worauf das Ganze zu einer scheinbar einheitlichen Felsmasse erstarrte. Daß die Wissenschaft unrecht tut, alle diese verschiedenartig gebildeten Gesteinarten mit dem einen Namen „Gneis" zu belegen, ist selbstverständlich und wird auch allgemein zugegeben, aber im einzelnen hat man sich über die Systematik dieser verwickelten Gesteingruppe noch nicht geeinigt.

In den tiefsten Lagen des Urgebirges finden sich fast nur granitische, also aus den schmelz-

*) Näheres darüber im dritten Abschnitt.

flüssigen Massen des Erdinnern hervorgegangene Gneise, höher hinauf erlangen die durch Mischung und Metamorphose entstandenen das Übergewicht, und ganz oben herrschen fast ausschließlich umgewandelte Schichtgesteine. Dies sind teils Glimmerschiefer, ungemein verbreitete, aus abwechselnden Lagen von Quarz und Glimmer bestehende, daher meist sehr blätterige Felsarten, teils körnige Kalksteine, oft von schöner, weißer Farbe und als „Marmor" hochgeschätzt.

Die älteren Geologen sahen in der Gneisformation die erste Erstarrungskruste unseres Weltkörpers, die Glimmerschiefer, Marmore und ähnliche Gesteine hielten sie für Absätze der warmen, mit gelösten Stoffen überladenen Urozeane. Was den Gneis betrifft, so bildet er, soviel man weiß, rings um den Erdball überall die tiefsten Lagen der Felsrinde, scheint also aufs beste der Vorstellung einer ältesten, um den Planetenball abgeschiedenen Kruste zu entsprechen. Aber mit der Zeit sind doch mancherlei Bedenken gegen diese Anschauung hervorgetreten.

Zunächst gibt es zahllose Gneise und andere „kristalline Schiefer" von ziemlich jugendlichem Alter. Die bedeutendsten Gneismassive der Alpen (Montblanc, Gotthard, Berner Oberland, Hohe Tauern u. a.) entstammen sicherlich nicht der ältesten Urzeit, sondern sind die erstarrten Kerne vulkanischer Schmelzmassen, die viel später, wahrscheinlich zur Steinkohlenzeit, aus dem Erdinnern emporquollen. Noch weit bedeutender ist die Zahl der aus metamorphosierten Schichtgesteinen jüngerer Perioden hervorgegangenen Gneise und Glimmerschiefer, fast jedes Zeitalter vom Algonkium bis zum Tertiär hat kristalline Schiefer solcher Herkunft geliefert. Wir wissen, daß schon in kambrischer, ja allem Anschein nach schon in algonkischer Zeit die Meere ungefähr die gleiche Temperatur und Zusammensetzung hatten wie heute, werden daher von einem Absatz der kristallinen Schiefer in warmen Urmeeren am besten ganz absehen. Nun gibt es aber zweifellos Gneise, die älter sind als alle Schichtgesteine, z. B. in Finnland und Nordamerika; könnten sie nicht Teile der ersten Erstarrungskruste des Erdballs sein?

Die Möglichkeit ist nicht schlechterdings zu leugnen, es kommt ganz darauf an, welche Ansicht man vom Erstarrungsvorgang unseres Planeten hat. Meistens wird ja angenommen, daß die Erde ursprünglich eine schmelzflüssige, leuchtende Kugel, umgeben von einer dichten, heißen Atmosphäre, gewesen sei, also eine Sonne im kleinen. Infolge der Ausstrahlung in den kalten Weltraum bildete sich an der Grenze zwischen flüssigem Kern und Gashülle eine Haut aus festem Gestein, dadurch büßte die Erde ihr Leuchtvermögen ein, und die Abkühlung des Innern schritt nunmehr weit langsamer fort, weil ja die schützende Kruste eine rasche Wärmeabgabe verhinderte. Aber wie verhielt es sich an der Oberfläche? Man hat berechnet, daß bei der schlechten Wärmeleitung der Gesteine schon eine Krustendicke von 60 Metern genügte, um die Temperatur der Oberfläche auf 70 Celsiusgrade sinken zu lassen. Hiermit stimmen die Beobachtungen an frischen Lavaströmen überein, deren Schlackenrinde man meist schon gefahrlos betreten kann, wenn durch alle Spalten und Poren noch die glühende Lava des Innern hindurchschimmert. Die Erkaltung der frühesten Erdkruste wurde aber zweifellos durch den Umstand bedeutend verzögert, daß fortwährend schmelzflüssige Massen sie durchbrachen und große Teile der Rinde wieder auflösten. Die Erdoberfläche muß damals zeitweise einem glühenden Meer mit schwimmenden Inseln verfestigter Schollen geglichen haben. Erst als infolge zunehmender Stärke der Kruste die vulkanischen Durchbrüche seltener wurden, konnte die Temperatur rasch abnehmen. Es entstanden sehr bald die ältesten Wasseransammlungen, die Urmeere. Daß sie anfänglich sehr warm waren, kann als gewiß gelten, aber sie dürften sich ziemlich rasch abgekühlt haben.

In älteren Darstellungen der Erdgeschichte liest man, die Urmeere hätten gleichmäßig die ganze Oberfläche unseres Planeten bedeckt. Das ist unwahrscheinlich, denn infolge der lebhaften Tätigkeit des Erdinnern gab es wohl schon sehr früh Berge und Niederungen, welch letztere die Wassermassen aufnahmen. Eine andere Ansicht geht dahin, die Gesamtmenge des flüssigen Wassers, also auch die der Ozeane, sei früher um vieles größer gewesen, weil beständig Wasser bei der Verwitterung der Gesteine verbraucht sowie als „Bergfeuchtigkeit" zurückgehalten wird. Letzteres ist richtig; Delesse, ein bedeutender französischer Mineraloge, hat sogar berechnet, daß die auf solche Weise dem Kreislauf entzogene Wassermenge mindestens so viel beträgt, wie das gesamte in den heutigen Meeresbecken flutende Element. Trotzdem ist obige Schlußfolgerung unzulässig, denn aus dem Erdinnern findet durch vulkanische Ausbrüche, heiße Quellen, Geiser usw. ein fortwährender Ersatz des von den Gesteinen verschluckten Wassers statt.

In Perioden starker vulkanischer Tätigkeit überwiegt die Zufuhr wahrscheinlich den Verbrauch ganz bedeutend. Sonach könnte man eher annehmen, die Meere, überhaupt das ganze „Oberflächenwasser" der Erde, hätten im Lauf der Erdgeschichte eine fortgesetzte Vermehrung erfahren.

Kehren wir zur Erstarrungskruste zurück! Nachdem sie die nötige Dicke erreicht hatte, konnten die aus dem Innern hervorquellenden, glutflüssigen Ströme sie nicht mehr aufschmelzen, sondern nur noch an einzelnen Punkten durchbrechen: es entstanden die ersten Vulkane. Ungeheure Lavamassen entströmten ihren Schloten und breiteten sich wie Decken über die feste Schale aus. Anfangs war wohl die ganze Erdoberfläche übersät mit diesen feurigen Essen, mit der Zeit werden sich viele Ausfalltore geschlossen haben, aber die Ausbrüche der noch offenen desto heftiger und ergiebiger geworden sein. Es mußte sich allmählich über der ältesten Rinde ein mächtiger Panzer erkalteter Lavadecken bilden, so daß also die steinerne Hülle des Erdkörpers gleichzeitig nach zwei Richtungen wuchs: nach unten durch die fortschreitende Erstarrung des flüssigen Kerns und nach oben durch die immer zunehmende Dicke des Lavapanzers. Dabei blieb aber die Erdoberfläche zunächst noch in Verbindung mit dem glühenden Kern durch Kanäle, die Kruste und Panzer zugleich durchsetzten und oben in Kratervulkanen endigten.

Wenn hier von Lava die Rede ist, so darf man dabei nur mit Vorbehalt an die Ergüsse der heutigen feuerspeienden Berge denken. Nirgends finden sich in den tiefsten, uns bekannten Erdschichten Gesteine, wie sie in der Gegenwart die Abhänge des Vesuv, Ätna, Krakatau usw. bedecken, oder wie sie uns in den tertiären Vulkanen Deutschlands erhalten sind; überall ist man auf Granit und Gneis gestoßen, die zu ihrer Entstehung eine sehr langsame Abkühlung und starken äußeren Druck voraussetzen. Diese Bedingungen sind ja in der Tiefe immer erfüllt, aber in der ältesten Urzeit waren sie es wohl auch an der Erdoberfläche. Wenn damals wirklich ein glühendes Lavameer den Erdball umflutete, mußte die Lufthülle mit Gasen und Dämpfen (Wasserdampf, Kohlensäure usw.) dermaßen übersättigt sein, daß ihre Dichte und demzufolge auch ihr Druck mindestens das Hundertfache des gegenwärtigen Wertes betrugen, ebenso mußte auch die Temperatur mehrere, vielleicht viele hundert Grad höher sein. Während in der Gegenwart frische Lavaergüsse sich sehr rasch mit einer Schlackenkruste bedecken, konnte damals die Lava nur äußerst langsam erstarren, was der Bildung von Gneis, Granit und anderen Tiefengesteinen sehr förderlich war. Nachdem sich dann später eine solide Kruste gebildet hatte, nahm zweifellos der Überfluß der Lufthülle an Gasen erheblich ab, blieb aber infolge der andauernden und überaus mächtigen vulkanischen Ausbrüche wohl noch längere Zeit bedeutend genug, um die Erstarrung der emporgequollenen Schmelzflüsse zu Gneis und Granit auch direkt an der Erdoberfläche zu ermöglichen.

Nahm nun die Dicke der Rinde mehr und mehr zu, so konnte es vorkommen, daß manche Lavanachschübe aus dem Innern die Oberfläche nicht mehr erreichten, sondern in der Panzerdecke steckenblieben. Auf diese Weise bildeten sich schmelzflüssige Kammern, gleichsam Ableger des glühenden Erdkerns, innerhalb der erkalteten Kruste. Durch dicke Gesteinwände gegen jede rasche Abkühlung geschützt, konnten sie sich lange Zeit hindurch in schmelzflüssigem Zustand erhalten, zumal ja vermutlich von der Tiefe aus öfters kräftig nachgeheizt wurde. Allmählich aber verfielen sie doch einer äußerst langsamen Erstarrung, wenn nicht durch allzu stürmisches Drängen von unten nachträglich noch ein Durchbruch geschlagen wurde, und der glühende Inhalt seinen Weg zur Oberwelt fand.

Solche vom Erdinnern mehr oder minder abgetrennte Lavabehälter bezeichnet man nach Stübel als „peripherische Vulkanherde". Je mächtiger der Erdpanzer wurde, je mehr Kanäle sich verstopften, und je kleiner die Zahl der ausbruchsfähigen Herde wurde, desto stärkeren Widerstand hatte der Glutbrei bei seinen Befreiungsversuchen zu überwinden. Schließlich mußte ein Zeitpunkt eintreten, wo der Widerstand der steinernen Schale und die Spannung des Erdinnern sich ungefähr das Gleichgewicht hielten; dann war eine ungeheure Kraft erforderlich, um die Kruste zu sprengen, und wenn dies gelang, konnte es nur durch die furchtbarsten Explosionen geschehen, denen ganz enorme Ergüsse von Lavamassen folgten. Gegen diese jedes uns gewohnte Maß weit überschreitenden Katastrophen waren selbst so gewaltige Ausbrüche wie die des Krakatau im Jahr 1883 das reine Kinderspiel. Nun hatte aber damals längst die Bildung der Schichtgesteine begonnen: in den Ozeanen hatten sich Kalk- und Tonlager abgesetzt, an den Küsten Sandsteine, und die Festländer waren mit Verwitterungsschutt bedeckt. Nichts hindert die Annahme, daß in den Meeren schon niedrige Organismen gediehen. Trat nun eine jener riesenhaften Vulkankata-

strophen ein, so wurden zweifellos auf weiten Gebieten alle jene Bildungen vernichtet, unter Asche und Schlamm und Lavaströmen so abgrundtief begraben, daß sie dem menschlichen Auge wohl für immer entrückt sind. Daraus ergibt sich — die Richtigkeit der Theorie vorausgesetzt — daß wir niemals hoffen dürfen, sichere Spuren der ältesten Lebewesen unseres Planeten zu finden. Selbst wenn es an günstig gelegenen Stellen gelingen sollte, bis in die entsprechende Tiefe vorzudringen, so müssen doch die ältesten Schichtgesteine durch vulkanische Einwirkung bis zur Unkenntlichkeit metamorphosiert, und ihre Versteinerungen längst zerstört und verschwunden sein. Die ersten Aufzeichnungen im Buch des Lebens hat die Natur selbst mit einer Gründlichkeit ausgewischt, als sei es darauf abgesehen, das große Geheimnis der Entstehung des Lebens auf immer dem Menschen zu verschließen.

Nach dem „Zeitalter der Katastrophen", das jedenfalls noch vor dem Algonkium liegt, war jede Verbindung des immer mehr zusammenschwindenden Erdkerns mit der Oberwelt abgeschnitten. Der Widerstand der Kruste blieb fortan stärker als das Ausdehnungsbestreben der glühenden Kernmassen, die alten Durchbruchswege schlossen sich, und neue konnten nicht mehr aufgerissen werden. Wie aber erklärt sich die Fortdauer der vulkanischen Ausbrüche, wie ihre starke Zunahme in der Karbon- und Permzeit sowie später, nach langer Ruhepause, nochmals in der Tertiärperiode? Der verstorbene Dresdener Vulkanforscher A. Stübel, dessen theoretischen Anschauungen wir bis hierher gefolgt sind, vertritt die Ansicht, daß der ganze „jüngere" Vulkanismus, sagen wir: vom algonkischen Zeitalter an, seine Quelle nur noch in den „peripherischen Herden" hat, jenen vom Erdkern abgeschnürten Lavakammern innerhalb der Panzerdecke. Stübel denkt sich unter jedem tätigen Feuerberg oder auch unter mehreren benachbarten zusammen einen besonderen Glutherd, der die Ausbrüche speist, bis seine Kraft erschöpft ist, manchmal aber nach langer Ruhepause durch Zuführung frischen Glutstoffes aus tieferen Herden zu neuem Leben erwacht. Ein Beispiel für den letzten Fall scheint der Vesuv zu sein, den die alten Römer bekanntlich für erloschen hielten, bis die furchtbare Katastrophe unter der Regierung des Kaisers Titus sie über den wahren Charakter des Berges aufklärte.

Auf einige Bedenken gegenüber der Theorie der peripherischen Herde komme ich im folgenden Kapitel zu sprechen. Daß aber ähnliche Bildungen, nur im kleineren Maßstabe, noch in der Gegenwart entstehen, läßt sich an manchen Stellen der Erdoberfläche direkt beobachten. Der Jorullo in Mexiko ist ein in mehrfacher Beziehung sehr interessanter Feuerberg. Wo jetzt der etwa vier Quadratmeilen bedeckende Vulkan sich erhebt, lag bis zum September des Jahres 1759 eine fruchtbare, mit Mais-, Zuckerrohr- und Bananenfeldern bestellte Ebene. Dann wurde im Lauf weniger Tage das ganze blühende Land unter mächtigen Lavamassen begraben, die sich zu einem gewölbten Plateau von rund 500 Metern Höhe auftürmten. Damit hatte sich über der heutigen Erdoberfläche ein neuer vulkanischer Herd gebildet, in dessen Innern die Lava viele Jahre hindurch fortglühte. Einundzwanzig Jahre nach dem Erguß war der Berg noch durch und durch glutflüssig, man konnte das Plateau begehen, aber überall schimmerte aus den Spalten feurige Lava hervor, an der die Besucher gelegentlich ihre Zigarren entzündeten. Sechsundsechzig Jahre später dampfte die Masse noch immer an einigen Stellen. In der Zwischenzeit aber waren auf dem flachen Rücken Hunderte von Miniaturvulkanen entstanden: kleine, aus Schlacken aufgebaute Kegel, die fast wie versteinerte Springbrunnen aussehen. Wegen der Rauchwolken, die sie viele Jahre hindurch ausstießen, wurden sie von den Umwohnern „Hornitos", d. h. Öfen, genannt.

Wir müssen also hier zwei Abschnitte der vulkanischen Tätigkeit unterscheiden: zunächst wurde durch gewaltige Ergüsse eines unterirdischen Herdes der Jorullberg aufgestaut, dann übernahm dieser selbst die Rolle eines Herdes und erzeugte zahlreiche Vulkane zweiter Ordnung, die Hornitos. Ähnliche Verhältnisse lassen sich auch in Syrien beobachten, im Lavagebirge des Hauran, wo einzelne der kleinen Feuerschlote sogar eigene Lavaströme ausgesandt haben. Solche Erscheinungen rechtfertigen die Vermutung, daß die Schmelzbecken unter den heutigen Vulkanen in der Regel nur Ableger von weit größeren, in bedeutender Tiefe liegenden Lavaherden sind.

Wie man sich nach Stübel den gegenwärtigen Zustand des Erdinnern zu denken hat, soll Figur 1 auf der beigegebenen Tafel veranschaulichen. Die Hauptmasse unseres Planeten, mehr als drei Viertel seines Rauminhalts, wird von der „Erstarrungskruste" eingenommen, der feurige Kern ist auf ein Viertel seiner ursprünglichen Masse zusammengeschrumpft. Über die mächtige Kruste breitet sich überall die aus den ältesten Ausbrüchen hervorgegangene Panzerdecke, der Stübel eine Dicke

von mindestens fünfzig Kilometern zuschreibt, und darüber liegen als äußerste Schale die (auf der Figur nicht dargestellten) Schichtgesteine. Zu beachten ist, daß die Panzerdecke im Interesse einer deutlichen Zeichnung viel zu groß dargestellt ist, auf einem Globus von achtundvierzig Metern Durchmesser würde sie, im richtigen Verhältnis aufgetragen, nur eine Rinde von zwanzig Zentimetern Dicke bilden. Die Mächtigkeit der Schichtgesteine schwankt stark, in manchen Gegenden fehlen sie ganz, in anderen sind sie mehrere Kilometer hoch angehäuft und wären wohl noch stärker, wenn nicht die abtragenden Kräfte von Zeit zu Zeit bedeutende Massen wieder entfernt hätten.

Wir glaubten, den Gedankengang des Dresdener Vulkanforschers ausführlich wiedergeben zu sollen, weil es kaum eine zweite ebenso vollkommene und gut durchdachte Theorie über die älteste Entwicklungsgeschichte unseres Planeten gibt. Dieses Verdienst wird keineswegs durch den Umstand geschmälert, daß gegen die von Stübel vorausgesetzte enorme Dicke der Erstarrungskruste gewisse Bedenken obwalten. So erscheint es kaum glaublich, daß innerhalb der Panzerdecke peripherische Herde Jahrmillionen hindurch schmelzflüssig bleiben können, wenn die viel besser gegen Erkaltung geschützten Kernmassen schon bis zu so bedeutender Tiefe der Erstarrung anheimgefallen sind. Indessen läßt sich unseres Erachtens die Stübelsche Theorie auch bei einer weit geringeren Dicke der festen Erdzone aufrechterhalten. Die langen Ruhepausen des Vulkanismus während der kambrischen und mesozoischen Zeit deuten darauf hin, daß sich, wie ja selbstverständlich, die peripherischen Herde allmählich erschöpfen, und daß neue entstehen müssen, wenn wieder eine Periode heftiger Ausbrüche eintreten soll. Woher aber sollte der neue schmelzflüssige Stoff kommen, wenn nicht aus dem großen Hauptherde im Kern? Die Verbindung muß also wenigstens zeitweise offen sein, und die Kruste eine viel geringere Dicke besitzen, als ihr der Dresdener Gelehrte zuschreibt. Wahrscheinlich wird die übergroße Mehrzahl der tätigen Vulkane von peripherischen Herden gespeist, aber diese selbst sind keine abgetrennten Becken, sondern Ausläufer, vorgeschobene Posten des gewaltigen Zentralherdes, aus dem sie so lange ihre Nahrung beziehen, bis die Verbindung infolge fortschreitender Abkühlung sich schließt, worauf der betreffende Vulkan binnen kurzer Zeit erlischt.

Beobachtungen über die Fortpflanzung der Erdbebenwellen sprechen dafür, daß schon in ziemlich geringer Tiefe eine einheitlich schmelzflüssige Zone den Erdkern umgürtet. Der Göttinger Erdphysiker E. Wiechert glaubt, daß sie schon dreißig Kilometer unter der Oberfläche beginnt, der Engländer J. Milne berechnete etwa fünfzig Kilometer. Als vorspringende Buchten dieses Lavameeres hätte man sich die oft bis dicht unter die Oberfläche hinaufreichenden peripherischen Herde vorzustellen. Die glutflüssige Zone besitzt eine weit größere Dicke als die äußere Kruste, nach Wiechert 750 Kilometer. Beide zusammen bilden den „Gesteinmantel", die hauptsächlich aus Kieselsäure, Tonerde, Eisen, Leichtmetallen und Wasser, also zumeist leichten Stoffen, zusammengesetzte Außenschale des Erdballs. Für den Kern bleiben noch rund 11000 Kilometer Durchmesser, dem Rauminhalt nach sind beide etwa gleich groß. Es fragt sich nun: wie ist der Kern beschaffen?

Auf verschiedene Weise kann man die Dichte (das Eigengewicht) des gesamten Erdkörpers messen, sie ist im Mittel etwa 5,6 mal größer als die des Wassers. Nun beträgt aber die Dichte des Gesteinmantels höchstens 3,2 (Wiechert), folglich muß der Kern aus weit schwereren Stoffen bestehen als die Schale. Wahrscheinlich herrscht in ihm das Eisen bedeutend über die anderen Elemente vor. In jenen Tiefen erreicht die Hitze einen solchen Grad, daß alle Körper, Grundstoffe wie chemische Verbindungen, nur im gasförmigen Zustand existieren können, aber gleichzeitig preßt sie der ungeheure Druck dermaßen zusammen, daß sie trotz ihrer Gasnatur äußerst zähflüssig, ja geradezu „starr" bleiben (Arrhenius). Wir gelangen so zu der eigentümlichen Vorstellung eines aus gasförmigem Eisen bestehenden, trotzdem fast starren Erdkerns, den zunächst eine Zone schmelzflüssigen, weiter oben eine dünne Schicht erstarrten Gesteins umgibt.

Das Bild vom Erdinnern wird noch verwickelter, wenn sich, wie manche Forscher annehmen, innerhalb der flüssigen Schale noch eine zweite, erstarrte Zone ausbreitet. Aus dem physikalischen Verhalten der Schmelzflüsse bei hohem Druck wird gefolgert, daß die Erstarrung unseres Planeten gar nicht an der Oberfläche, sondern in einer mittleren Tiefe begonnen hat. Im Anfang gab es also nur eine „innere Kruste", bedeckt von einem glutflüssigen Lavameer. Erst in einem späteren Stadium überzog sich auch dieses mit einer festen Rinde; nun wuchsen innere und äußere Kruste gegeneinander an, ohne sich jedoch zu erreichen. Es blieb zwischen ihnen ein flüssiger Gürtel be-

stehen, der etwa so dick sein soll wie die Außenrinde. Figur 2 der beigegebenen Tafel mag uns den Aufbau des Erdkörpers nach dieser Theorie veranschaulichen. Der glühende „eiserne" Kern ist licht gehalten, der „Steinmantel" besteht aus zwei schmelzflüssigen (rot) und zwei festen Zonen (grau). Zu beachten ist, daß auch hier die Größenverhältnisse der äußeren Schichten stark übertrieben sind, der bei weitem größte Teil des Steinmantels wird von der inneren Schmelzzone eingenommen.

Die vulkanische Kraft soll ihren Sitz allein in der letzteren haben. Hier dehnt sich die Lava beim Erstarren aus und sprengt gelegentlich die innere Kruste (durch schwarze und rote Kanäle angedeutet). Dadurch kommt erst Bewegung in die äußere Schmelzzone, die sich gewöhnlich beim Erkalten in aller Ruhe zusammenzieht und daher keine vulkanischen Ausbrüche veranlassen kann. Strömt aber von innen frische Lava herein, so muß die Temperatur erheblich steigen, die ganze Masse wird sich stark ausdehnen und einen Ausweg nach oben suchen. Erreicht die Spannung den genügenden Grad, so wird nun auch die äußere Kruste durchbrochen, und es kommt zur Bildung oberirdischer Vulkane.

Ob diese Seite der Theorie das Richtige trifft, werden wir besser beurteilen können, wenn wir die vulkanischen Erscheinungen im einzelnen kennen gelernt haben, — die weitere Erörterung der Frage nach dem Ursprung der vulkanischen Kraft sei daher auf das nächste Kapitel verschoben.

Es bedarf kaum der Feststellung, daß die Deutung der Gneisformation (soweit wirklicher „Urgneis" vorliegt) ganz verschieden ausfallen muß, je nachdem man die eine oder andere Theorie über den Erstarrungsvorgang der Erde zugrunde legt. Nach Stübel liegt die Erstarrungsrinde unter einer fünfzig Kilometer dicken Panzerdecke, ist also menschlicher Forschung wohl für immer unzugänglich; was wir Urgneis nennen, können nur die obersten, zuletzt gebildeten Lagen der gewaltigen vulkanischen Ergüsse der „Katastrophenzeit" sein. Nach Wiechert, Milne und anderen wäre es dagegen recht wohl möglich, daß die Gneise der ersten, äußeren Erstarrungskruste angehörten, dann müßten sie, da hier die Verfestigung von außen nach innen fortschritt, gerade umgekehrt die allerältesten Oberflächengesteine unseres Planeten vorstellen. Dazu kommt, daß man nur in seltenen Fällen genau weiß, ob man es wirklich mit Urgneis und nicht mit einem weit jüngeren Gestein zu tun hat. Weit entfernt, für die Entstehungsgeschichte unseres Planeten eine feste Grundlage abzugeben, fügen sich vielmehr die Gneise willig in den Dienst jeder Hypothese, die man über den Urzustand aufstellen will.

Aber der Mangel an bestimmtem Wissen geht noch viel weiter. Die bislang erörterten Theorien setzen voraus, daß die Erde sich aus einem glühend-gasförmigen, „nebularen", Zustand allmählich in einen feuerflüssigen (im Innern noch gasförmigen) Ball verwandelt habe, aus dem durch weitere Abkühlung ein oberflächlich erstarrter Weltkörper hervorging (Kant-Laplacesche Theorie). Indessen gibt es für diese Entwicklung, besonders für einen durch und durch glühenden Urzustand, nicht die mindesten Beweise. Früher glaubte man, in der Abplattung der Erde einen solchen erblicken zu dürfen, aber seit die Engländer Thomson und G. Darwin mathematisch nachwiesen, daß auch eine vollkommen starre, z. B. stählerne Erdkugel sich unter dem Einfluß der Schwungkraft an den Polen abplatten müsse, hat die ellipsoidische Gestalt der Erde ihre Beweiskraft für deren feuerflüssigen Urzustand eingebüßt.

Bei dieser Sachlage erscheint es keineswegs verwunderlich, daß ganz abweichende Theorien über die Entstehung der Erde und der Weltkörper überhaupt sich hervorgewagt haben. Es handelt sich hierbei größtenteils um sehr phantastische, leicht widerlegbare Gedanken. Anspruch auf Beachtung verdient lediglich die Konglomerat- oder Zusammenballungstheorie. Sie besagt, daß die Himmelskörper aus Anhäufungen von Meteoriten oder, allgemeiner ausgedrückt: von kosmischen Körperchen hervorgegangen sind. Während man sonst die Meteorite gewöhnlich für Trümmer zersprengter Weltkörper hält, wären sie nach dieser Theorie das Ursprüngliche, zuerst Dagewesene, gleichsam die Bausteine des Weltalls.

Ob diese Auffassung astronomisch haltbar ist, kann hier nicht untersucht werden, so viel läßt sich aber behaupten, daß sie geologisch haltbar ist. Die Innenwärme der Erde, die in den vulkanischen Erscheinungen gipfelt, scheint zwar einer Entstehung unseres Planeten aus festen Massen zu widersprechen, aber man kann sich recht gut vorstellen, daß sie erst ein Ergebnis späterer Vorgänge sei. Als Wärmequelle könnte man das Fallen der Massen gegen den Erdmittelpunkt oder die Zusammenpressung der ursprünglich sehr locker zusammengefügten Meteorsteine oder chemische Vorgänge oder endlich die Zersetzung des ja in der Erdrinde überall nachgewiesenen Radiums annehmen, — alles

ist möglich, aber keinesfalls beweisbar. Wie dem auch sei, bei Annahme der Konglomerattheorie würde sich die Schlußfolgerung ergeben, daß die Erdoberfläche von jeher fest gewesen sei. Denn die Meteorite fielen auf den in Bildung begriffenen Erdkörper doch wohl in so großen Zwischenräumen nieder, daß eine durch den Anprall erzeugte Schmelzung immer auf ganz kleine Stellen der Oberfläche beschränkt blieb und rasch wieder vorübergehen mußte. Wenn auf solche Weise ein die Erde umflutendes Lavameer entstehen sollte, müßten ganz ungeheure Massen von Meteoriten gleichzeitig herniederprasseln, ein außerordentlich unwahrscheinlicher Vorgang. Nochmals mag betont werden, daß in der Urgneisformation nicht der geringste Beweis für ein einstiges allgemeines Lavameer zu finden ist. Der gesamte Urgneis kann recht gut späteren vulkanischen Ausbrüchen seine Entstehung verdanken, von einem Teil wissen wir es ja bestimmt.

So sind wir auf unserer Wanderung durch die geologischen Zeitalter schließlich in ein Gebiet gekommen, wo jede sichere Orientierung aufhört. Ob die allerälteste Oberfläche unseres Weltkörpers fest oder flüssig war, aus was für Gestein sie bestand, in welcher Tiefe wir sie jetzt zu suchen haben, das sind alles Fragen, deren endgültige Beantwortung der Forschung wohl niemals gelingen wird. Ebenso hoffnungslos scheint das Problem der Herkunft des Lebens. Wer am Gedanken der Urzeugung festhält, muß sie in jene kurze Periode verlegen, die zwischen der ersten Entstehung einer dauerhaften Kruste und ihrer Abkühlung auf eine der heutigen ähnliche Temperatur liegt, — denn nur damals kann es warme, mit den verschiedensten Salzen und Gasen gesättigte Meere auf unserem Planeten gegeben haben. Da aber alle auf eine Urzeugung abzielenden Versuche mit vollkommen negativem Erfolge geendigt haben, wird man vielleicht lieber von einer Hypothese absehen, die so gänzlich in der Luft schwebt, und die Frage aufwerfen, ob die Entstehung des Lebens nicht auf eine andere Weise erklärt werden kann. Am nächsten liegt der Gedanke, daß organische Keime von anderen Weltkörpern auf unsere Erde „hinübergeflogen" seien. Früher hielt man diese Ansicht für phantastisch, aber Arrhenius hat vor einiger Zeit die Möglichkeit einer solchen Übertragung nachgewiesen. Es mag zum Schlusse dieses Abschnitts erlaubt sein, den Gedankengang des schwedischen Forschers kurz auseinanderzusetzen.

Wie der durch seine Elektrizitätstheorie berühmt gewordene Physiker Maxwell berechnete, und wie nach ihm andere Forscher durch Messungen bestätigten, übt jede Art Strahlen (Licht-, Wärmestrahlen usw.) einen Druck auf die Körper aus, auf die sie fallen, mit anderen Worten: sie suchen diese Körper von der Licht- oder Wärmequelle hinwegzustoßen. Bei einer Lichtquelle, wie die Sonne ist, überwiegt in der Regel die Anziehungskraft den „Strahlungsdruck"; sind aber die getroffenen Körperchen klein genug, so werden sie in den unendlichen Raum fortgeschleudert. Arrhenius berechnete den Durchmesser eines schwarzen Kügelchens, bei dem sich Abstoßung und Anziehung gerade das Gleichgewicht halten, auf fünfzehn Zehntausendstel Millimeter. Noch kleinere Körperchen werden also von der Sonne abgestoßen.

Daß es Organismen von entsprechender Kleinheit gibt, kann man kaum bezweifeln. Die Dauersporen vieler Bakterien sind etwa fünfmal so klein, und die Beobachtungen am Ultramikroskop deuten an, daß noch weit kleinere existieren, z. B. die vermutlichen Erreger der Maul- und Klauenseuche. Aber dürfen wir uns vorstellen, daß solche Keime im unendlichen Weltraum schweben, daß sie die dort herrschende Kälte jahrhunderte-, jahrtausendelang ertragen, bis ein günstiges Schicksal sie auf einem bewohnbaren Planeten landen läßt?

So winzige und so leichte Organismen folgen natürlich den Luftströmungen bis in die höchsten Regionen der Atmosphäre. Von dort werden sie durch elektrische Abstoßung — Arrhenius denkt an die elektrischen Kräfte des Nordlichts — in den Äther hinaufbefördert. Einmal außerhalb des Bereichs der irdischen Anziehungskraft, werden sie vom Strahlendruck der Sonne erfaßt und weiter ins Unendliche getrieben. Es fragt sich nun: wie lange dauert die Reise? Unseren Nachbar, den Mars, würde ein von der Erde losgelöster Keim schon nach zwanzig Tagen erreichen können, den Jupiter nach achtzig Tagen, den Neptun nach vierzehn Monaten. Aber die Theorie erfordert auch die Übertragung des Lebens von einem Sonnensystem zum anderen. Und da hören wir, daß diese Art Beförderung bis zum nächsten Sonnensystem, dem Hauptstern des Zentauren am südlichen Sternenhimmel, immerhin 9000 Jahre in Anspruch nehmen würde. Ist es wohl denkbar, daß ein Lebewesen, und wäre es das allerniedrigste, der furchtbaren Kälte des Weltalls zum Trotz seine Keimfähigkeit so lange Zeit bewahren könnte?

Mehrere in jüngster Zeit angestellte Versuche scheinen zu beweisen, daß sich die Keimkraft

gerade bei sehr niedrigen Temperaturen viel länger erhält als bei den auf der Erde gewöhnlichen. An dieser Stelle sei nur ein Beispiel angeführt. Staphylokokken (eine Art Bakterien) wurden in ausgetrocknetem Zustand vier Monate lang in der Temperatur der flüssigen Luft (— 195 Grad) aufbewahrt, ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüßen. Sehr bemerkenswert ist, daß die gleichen Bakterien bei Zimmertemperatur schon nach drei Tagen zum Teil zugrunde gingen. Dies weist darauf hin, welch stark konservierenden Einfluß große Kälte auf die Erhaltung des Lebens (in seinen niedrigsten Formen) ausübt.

Der Verlust der Keimfähigkeit beruht ohne Zweifel auf irgendeinem chemischen Vorgang, und fast alle chemischen Vorgänge verlaufen in der Kälte sehr viel langsamer als in der Wärme. Man hat beobachtet, daß eine Erhöhung der Temperatur um zehn Zentigrade die Lebensfunktionen um mehr als das Doppelte steigert. Daraus berechnet Arrhenius, daß sich die Keimfähigkeit bei 220 Grad unter Null während dreier Jahrmillionen nicht stärker verringert als an einem Tag bei zehn Grad über Null. Darf man dieser Rechnung trauen, so fallen allerdings die letzten Bedenken fort, die man gegen eine Wanderung lebensfähiger Keime von Sonnensystem zu Sonnensystem hegen könnte.

„Es ist also wahrscheinlich," folgert der schwedische Physiker, „daß Samen der niedrigsten uns bekannten Organismen fortwährend von der Erde und anderen von ihnen bewohnten Planeten in den Raum hinausgestreut werden. So wie Samen im allgemeinen, so gehen weitaus die meisten hinausbeförderten Sporen dem Tod entgegen im kalten, unendlichen Weltenraum; aber eine kleine Anzahl fällt auf andere Himmelskörper nieder und ist imstande, dort Leben zu verbreiten, wenn sich günstige äußere Bedingungen finden. In vielen Fällen trifft das nicht zu, manchmal dagegen fallen sie auf guten Boden. Und wenn es auch eine oder mehrere Millionen Jahre dauern sollte von dem Zeitpunkt an, da ein Planet anfangen kann, Leben zu tragen, bis zu dem Augenblick, da der erste Samen auf ihn fällt und aufsprießt, um ihn für das organische Leben in Besitz zu nehmen, so bedeutet das wenig im Vergleich mit dem Zeitraum, währenddessen das Leben auf dem Planeten dann in voller Blüte steht."

Zweiter Abschnitt:

Vulkanismus.

Die Bedeutung der vulkanischen Erscheinungen.

Eine heute noch sehr angesehene geologische Schule lehrt, daß die vulkanischen Erscheinungen in der Erdgeschichte, mit Ausnahme der frühesten Urzeit, eine nur sehr untergeordnete Rolle gespielt haben. Wenn eine Gegend in einer Periode flaches Tiefland war, in der nächsten unter den Spiegel des Ozeans sank, dann wieder emportauchte, aber in veränderter Form, als gebirgige, steil vom Meeresgrund aufsteigende Inselgruppe, wenn diese Bewegung fortfuhr zu wirken und aus dem Inselgebirge allmählich ein festländisches, bis in die Höhe des ewigen Schnees emporragendes Kettengebirge schuf, — so gehen nach Ansicht der vorerwähnten Schule alle diese Umwandlungen auf ganz andere als vulkanische Ursachen zurück, und wenn es in ihrem Verlauf wirklich einmal zu vulkanischen Ausbrüchen kam, so waren das nur nebensächliche Begleiterscheinungen. Der Kern dieser Lehrmeinung läßt sich in die Worte zusammenfassen: Das Relief der Erdoberfläche ist im wesentlichen ohne Mitwirkung der vulkanischen Kräfte entstanden.

Fragt man, was für anderen Kräften denn der Hauptanteil gebührt, so lautet die Antwort: den tektonischen. Das Wort bedeutet eigentlich „aufbauend" oder „formbildend" und ist ziemlich unglücklich gewählt, denn aufbauend wirkt ja auch der Vulkanismus, wie die im vorigen Kapitel beschriebene Entstehung des Jorullo in klarster Weise zeigt. Aber was ist der Sinn des Wortes? Eigentlich nur ein negativer: „nichtvulkanisch". Alle geologisch tätigen Kräfte, die irgendeiner im Erdinnern wirkenden Energie, mit Ausnahme der vulkanischen, entstammen, werden „tektonisch" genannt. Häufig beschränkt man auch die Bedeutung auf rein mechanische Kräfte. Aber bei der mangelnden Einsicht, die man von ihrer Wirkungsweise hat, ist eine klare, erschöpfende Begriffsbestimmung ganz unmöglich. Es stellt sich immer mehr heraus, daß zahlreiche, früher für tektonisch gehaltene Vorgänge in Wirklichkeit vulkanischer Natur sind.

Viele Bewegungen der Erdrinde wurden und werden noch heute auf die angebliche Schrumpfung des Erdinnern zurückgeführt. So die Gebirgsfaltung, so die großen Einbrüche und Senkungsfelder, deren bedeutendstes Beispiel die Ozeanbecken sind, so auch die zahlreichen, fast überall nachweisbaren Bruchlinien innerhalb der Festländer. Der Gedankengang der Schrumpfungstheorie ist kurz folgender. Die Erde gibt fortwährend Wärme an den kalten Weltraum ab und zieht sich darum mehr und mehr zusammen. Einschrumpfen wird aber hauptsächlich das glutflüssige Innere, viel weniger die feste, schon erstarrte Kruste. Diese hat zwar das Bestreben, sich dem immer kleiner werdenden Kern anzuschmiegen, wird aber durch ihre Starrheit daran verhindert, so daß sie den Kern wie eine zu weite Schale umgibt. Infolgedessen treten in der Rinde starke Spannungen auf, die sich schließlich auslösen und „tektonische" Bewegungen, hier Einbrüche, dort Aufwölbungen und Faltungen, hervorrufen. Ja, manche Forscher führen selbst die Vulkanausbrüche auf tektonische Ursachen zurück. Die niedersinkenden Schollen der Kruste pressen die schmelzflüssige Zone zusammen und zwingen den Glutbrei zum Ausweichen. Als einziger, freier Ausweg bieten sich ihm Spalten innerhalb der festen Rinde, in denen er, vom Druck der überlagernden Massen getrieben, emporsteigt, und zwar um so höher, je größer und tiefer der Einbruch war. Ist der Druck stark genug, so kann der Schmelzfluß auch wohl überlagernde Schichten heben und sprengen, ja unter günstigen Umständen bis zur Erdoberfläche vordringen und Vulkane bilden. Nach dieser Theorie fehlt also der Lava jede Fähigkeit, durch eigene Kraft sich emporzuarbeiten, sie bleibt bei dem ganzen Vorgang vollkommen passiv und verhält sich ähnlich wie Ölfarbe in einer Tube, die nur herauskommt, wenn auf die Hülle gedrückt wird.

Es gibt heutzutage wohl kaum noch einen Geologen, der diese Erklärung aufrechthielte. In neuester Zeit sind so viele Fälle bekannt ge-

worden, in denen die selbständige Hebe- und Durchbruchskraft der glutflüssigen Masse sich aufs deutlichste zu erkennen gibt, daß auch der leiseste Zweifel in dieser Hinsicht schlechterdings unmöglich ist. Einige interessante Beispiele wird der Leser weiter unten kennen lernen. Weil aber der Nachweis bislang nur für verhältnismäßig untergeordnete Ausbrüche gelungen ist, möchten viele Geologen nach wie vor die Grundursache des Vulkanismus in tektonischen Vorgängen, besonders in der Gebirgsbildung, suchen. Studiert man den Verlauf der Erdgeschichte, so tritt deutlich hervor, daß in allen Weltteilen Perioden starker Vulkantätigkeit unmittelbar der Aufrichtung hoher Kettengebirge nachfolgen, sie zum Teil auch noch begleiten. So war es in der Steinkohlen- und Permzeit, so war es im jüngeren Tertiär. Diese Tatsache scheint auf den ersten Blick sehr zugunsten der erwähnten Ansicht zu sprechen, wird aber dadurch belanglos, daß sie nur von den oberirdischen Vulkanausbrüchen gilt. Im Gegensatz zu diesen setzt die unterirdische Vulkantätigkeit gleichzeitig mit der Gebirgsfaltung oder sogar früher ein. Sie gipfelt im Emporführen ungeheurer Schmelzmassen, die unter einer mächtigen Decke von Schichtgesteinen langsam zu granitenen Massiven erstarren. Die Granite der deutschen Mittelgebirge entstanden zur selben Zeit wie die Steinkohlenalpen, deren Kerne sie bilden, und in den heutigen Alpen herrschen durchaus ähnliche Verhältnisse. Besteht somit auch zweifellos ein Zusammenhang zwischen Gebirgsfaltung und Vulkanismus, so ist es doch noch ganz unsicher, ob tektonische oder vulkanische Vorgänge den Anstoß zur Auftürmung der Kettengebirge geben.

Bedenken gegen die Abkühlungs- und Schrumpfungstheorie sind schon früher laut geworden. Eins der gewichtigsten bildeten seit langem die Ergebnisse der Schweremessungen in den Faltengebirgen. Man sollte erwarten, daß hier, wo sich doch die Erde besonders stark zusammengezogen haben müßte, die Massen dichter angehäuft wären, die Erdschwere also einen höheren Betrag erreichen würde als im Flachlande. Die Pendelmessungen haben aber ganz im Gegenteil einen zu geringen Wert der Schwerkraft ergeben. Unter den Tiroler Alpen fehlen Massen, die einer etwa 1200 Meter dicken Erdschicht entsprechen, und für einzelne Stationen im Himalaja wurde diese Zahl gar auf 4000 bestimmt. Diese Verhältnisse, die man auch in anderen Hochgebirgen bestätigt gefunden hat, deuten statt auf Schrumpfung vielmehr auf beträchtliche Ausdehnung der Erdkruste in den gefalteten Gebieten.

Überhaupt kann man sich nur schwer vorstellen, daß ein so starres Erdinnere, wie man es aus erdphysikalischen Gründen voraussetzen muß, eine Schrumpfung erleiden könnte. Aller Wahrscheinlichkeit nach besteht der Erdkern aus enorm heißen Gasen, die von den ungeheuren Druckkräften dermaßen zusammengepreßt werden, daß sie sich allen Veränderungen ihrer Form, also auch der Schrumpfung, etwa mit der Starrheit des Stahls widersetzen. Zudem müssen diese starren Gase ein kolossales Ausdehnungsbestreben besitzen, das sich wahrscheinlich von Zeit zu Zeit in gewaltigen Explosionen an der Grenze von Steinmantel und Kern äußert; gewisse Erdbeben von sehr weitem Verbreitungsgebiet werden von manchen Forschern auf solche Vorgänge zurückgeführt.

Am schlimmsten aber haben der Abkühlungshypothese die neuesten Entdeckungen über die Verbreitung des Radiums in der Erdrinde mitgespielt. Wie bekannt, unterliegen die sogenannten radioaktiven Grundstoffe einem fortgesetzten, langsamen Zerfall, wobei recht beträchtliche Wärmemengen frei werden. Wenn nun die Erde hinreichende Mengen dieser Stoffe enthielte, könnte sie sich unmöglich abkühlen, da ein fortwährender Ersatz der in den Weltraum ausgestrahlten Wärme stattfände. Eingehende Untersuchungen einer ganzen Reihe Physiker haben gezeigt, daß jene Bedingung tatsächlich erfüllt ist. Radioaktive Stoffe, vor allem Radium und Thorium, sind in den oberflächlichen Schichten der Erde allgemein verbreitet, in vulkanischen Felsarten (ganz besonders im Granit) und Schichtgesteinen, in kalten und warmen Quellen, im Lehm und in der Ackererde, in Petroleumquellen, endlich zeigt auch die Luft unterirdischer Räume, Höhlen und tiefer Schluchten besonders hohe Radioaktivität. Merkwürdig ist nun, daß der durchschnittliche Radiumgehalt der Gesteine weitaus den Betrag übertrifft, der zum bloßen Ersatz der in den Weltraum ausgestrahlten Wärme erforderlich wäre. Daraus würde man schließen können, daß die Erde allmählich immer wärmer würde, wenn dies nicht aller Beobachtung widerspräche. Aus dem Verlauf der Erdgeschichte läßt sich eine stetige Erwärmung ebensowenig nachweisen wie eine fortgesetzte Abkühlung, vielmehr wechseln in langen Zwischenräumen wärmere Perioden mit kälteren ab.

Um den Widerspruch zu lösen, muß man annehmen, daß die Radioaktivität auf eine ver-

hältnismäßig dünne Oberflächenschale der Erde beschränkt ist, in den tieferen Lagen aber fehlt. Die Mächtigkeit der Radiumschale wird verschieden beurteilt, zwischen zwanzig und dreihundert Kilometern, erreicht aber keineswegs die Dicke des „Steinmantels" (750 Kilometer nach Wiechert). Hier tritt nun eine neue Schwierigkeit auf. Der Steinmantel besitzt aller Wahrscheinlichkeit nach eine sehr gleichmäßige Beschaffenheit, seine Hauptmasse ist Granit, teils in festem, teils in schmelzflüssigem Zustand; andere Feuergesteine und die dünne Hülle der Schichtgesteine treten demgegenüber ganz in den Hintergrund. Warum sollten nun dem Granit der tieferen Lagen das Radium und Thorium fehlen, während sie in den oberen so reichlich vertreten sind? Um dieser willkürlichen Annahme zu entgehen, hat man die Hypothese aufgestellt, daß in größeren Tiefen die radioaktiven Grundstoffe wohl auch vorkommen, aber infolge des dort herrschenden ungeheuren Druckes (81 000 Atmosphären in 300 Kilometer Tiefe) nicht radioaktiv sind, d. h. nicht zerfallen und daher auch keine Wärme entwickeln. Während an der Erdoberfläche das Radium im Lauf langer Zeiträume aus dem Uran entsteht und über zahlreiche Zwischenstufen allmählich in Polonium und vielleicht weiter in Blei oder Wismut übergeht, würden diese Grundstoffe wie auch das verwandte Thorium in der Tiefe beständig sein, und erst wenn vulkanische Ausbrüche die schmelzflüssigen Massen in höhere Lagen emporbefördern, würde der Zerfall der Elemente und damit die Wärmeentwicklung beginnen. Es ist das bislang, wie gesagt, nur eine Hypothese, der die Begründung durch Experimente noch fehlt, aber sie scheint zurzeit die einzige haltbare Erklärung für den merkwürdigen Umstand abzugeben, daß die Radioaktivität auf die obersten Schichten der Erdkruste beschränkt ist.

Auf Grund dieser Betrachtungen ist die Annahme begründet, daß die Radioaktivität ungefähr ebensoviel Wärme erzeugt, wie in den kalten Weltraum ausgestrahlt wird, d. h. daß sich die Erde annähernd im Wärmegleichgewicht befindet. Damit fällt die Möglichkeit einer Schrumpfung fort, und zur Erklärung für viele angeblich tektonische Vorgänge wird man nach anderen Ursachen suchen müssen. Es ist kaum zu sagen, wo anders sie zu finden sein sollten als in den vulkanischen Kräften.

Schon früher wurde erwähnt, daß die Wissenschaft die Begriffe „Vulkan" und „Vulkanismus" im weiteren Sinne faßt, als dem Laien geläufig ist. Im gewöhnlichen Sprachgebrauch bedeutet ein Vulkan immer nur einen feuerspeienden Berg, dessen Tätigkeit vornehmlich darin besteht, in periodischen Ausbrüchen Asche, Sand und Steinbomben auszuwerfen, ferner gewaltige Mengen Wasserdampf und anderer Gase auszuhauchen und verheerende Lavaströme in die Täler fließen zu lassen. Kürzer ausgedrückt: zum Begriff eines Vulkans in engerem Sinne gehört ein Krater an der Erdoberfläche. Aber die Geologie hat seit langem festgestellt, daß es zahlreiche Vulkane gibt, die erst geraume Zeit nach ihrem „Erlöschen" das Licht der Oberwelt erblickten: schmelzflüssige, aus unbekannter Tiefe emporgetriebene Massen, die sich zwischen die Schichtgesteine einzwängten, unter ihrer schützenden Decke langsam erstarrten und dort verblieben, bis nach Jahrmillionen die Abtragung sie freilegte. Unsere sämtlichen Granitberge sind solche nachträglich von ihrer Hülle befreite „Tiefenvulkane".

Unter Umständen aber konnte der Schmelzfluß vor seiner Erstarrung wieder in die Tiefe sinken, dann mußte natürlich auch die gelockerte und von Sprüngen durchsetzte Decke nachgeben. Sie zerbrach in einzelne Schollen, die verschieden weit absanken und, sich gegenseitig klemmend und aneinander verschiebend, in ein wirres Durcheinander gerieten. So entstanden manche „Senkungsfelder" und „Gräben" mit sehr verwickeltem Schichtenbau. Ein lehrreiches Beispiel dieser Art, das Ries bei Nördlingen, findet der Leser weiter unten besprochen. Wahrscheinlich dankt auch die Oberrheinische Tiefebene, der breite Graben zwischen Schwarzwald und Vogesen, ähnlichen Vorgängen ihre Entstehung.

Wir sehen die vulkanischen Tiefenkräfte hauptsächlich in zweierlei Weise umgestaltend auf das Relief der Erdoberfläche wirken. Einmal können sie durch Druck von unten die Erdrinde an einzelnen Stellen heben, entweder die überlagernden Schichten beulenförmig aufwölben oder sie wie einen riesigen Pfropfen senkrecht emporpressen. Dann aber können sie durch Nachlassen der Spannung und Zurücksinken des Schmelzflusses gewaltige Einbrüche des vordem gehobenen Landes hervorrufen.

Diese Theorie ist sehr alt und geht im wesentlichen auf A. v. Humboldt und L. v. Buch zurück, in deren Zeitalter sie die allein herrschende war. Später wurde sie von der Schrumpfungstheorie verdrängt und galt lange Zeit als gänzlich veraltet und überwunden. In-

dessen haben die geologischen Untersuchungen der letzten beiden Jahrzehnte bald hier, bald dort wichtige Tatsachen ergeben, die zu ihren Gunsten sprechen, und die Mehrzahl der modernen Geologen erkennt die „Erhebungstheorie" wenigstens für einen Teil der Erscheinungen als zu Recht bestehend an. Auch im Bau der Faltengebirge tritt die Mitwirkung senkrecht von unten nach oben gerichteter Druckkräfte immer deutlicher hervor. Nur darf man keinesfalls erwarten, die Entstehung eines so verwickelt aufgebauten Kettengebirges, wie es die Alpen sind, werde sich ausschließlich auf vulkanische Hebungen und spätere Einbrüche zurückführen lassen; hier haben noch mancherlei andere Bewegungen der Erdkruste mitgespielt, namentlich die großartigen, schwer zu erklärenden Überschiebungen älterer Schichtendecken über jüngere, von denen später die Rede sein wird.

Zum Begriff des Vulkanismus im weiteren Sinne gehören auch alle von den vulkanischen Gasen ausgehenden Erscheinungen. Aus den großen, langsam erstarrenden Schmelzherden der Tiefe entweichen im Laufe der Zeit ganz ungeheure Mengen heißer, hochgespannter Gase und Dämpfe. Gelingt es ihnen, leicht einen Ausweg zur Erdoberfläche zu finden, so bilden sie dort Gasquellen, die je nach der Eigenart der vorherrschenden Bestandteile verschieden benannt werden: Fumarolen, wenn sie vornehmlich Wasserdampf, Solfataren, wenn sie zumeist Schwefeldämpfe sowie Schwefelwasserstoff und schweflige Säure aushauchen; Mofetten endlich heißen die Kohlensäuregasquellen, deren berühmtestes Beispiel die Hundsgrotte bei Neapel bildet. Der Wasserdampf der Fumarolen ist manchmal so rein, daß man durch Abkühlung aus ihm trinkbares Wasser gewinnen kann, ein Hilfsmittel, von dem die Bevölkerung der wasserarmen Mittelmeerinsel Panteleria wirklich Gebrauch macht. Häufiger sind jedoch die gemischten Fumarolen, in denen oft bedeutende Mengen von Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure, in anderen Fällen freie Salzsäure und salzsaures Ammoniak den Wasserdampf begleiten. Durch ihren Borsäuregehalt bekannt sind die Fumarolen von Sasso in Toskana und von der Insel Volcano; die Borsäure schlägt sich in Form feiner, perlmutterglänzender Schuppen (genannt Sassolin) an den benachbarten Gesteinwänden nieder.

Als Fumarolen, die sich auf einem längeren Wege durch kühlere Erdschichten schon zu flüssigem Wasser verdichtet haben, kann man die heißen Quellen oder Thermen auffassen, doch ist im einzelnen Fall oft sehr schwer zu entscheiden, ob ihr Wasser wirklich den in der Lava enthaltenen Dampfmassen entstammt, oder ob es ursprünglich atmosphärischer Herkunft ist. Denn zweifellos können auch Grundwasserströme bis in Tiefen vordringen, wo sie sich beträchtlich erwärmen und mit allerlei aus den durchflossenen Gesteinschichten gelösten Mineralstoffen beladen, um dann als heiße Mineralquellen zur Erdoberfläche emporzusteigen. Solche Entstehung wird man namentlich den Thermen gänzlich unvulkanischer Gebiete zuschreiben, obwohl es auch in diesem Fall nie ausgeschlossen ist, daß sie einem sehr tief gelegenen Lavaherde entstammen. Als zweifelsfreies Beispiel einer Herkunft aus den Schmelzflüssen des Erdinnern seien die Karlsbader Quellen angeführt. Diese 75 Grad heißen Thermen entsprudeln dem Granit und führen mancherlei Stoffe, beispielsweise bedeutende Mengen Kochsalz, deren Gegenwart unmöglich durch eine Auslaugung des Granits zu erklären ist. Nun aber ist Kochsalz gerade ein vulkanisches Erzeugnis, im dampfförmigen Zustand entweicht es reichlich den frischen, soeben ausgeflossenen Lavaströmen. Auch in Karlsbad dürfte es seinen Ursprung vom Glutbrei der Tiefe nehmen, ebenso wie die reichlich den dortigen Heilquellen beigemengte Kohlensäure.

Das großartigste Thermengebiet der Erde ist der Yellowstone-Nationalpark im amerikanischen Felsengebirge. Den Untergrund bilden hier gewaltige Massenergüsse einer hellen, dem Granit verwandten Lava (sogenannter Liparit), die ein Plateau von etwa 12000 Quadratkilometern bedecken. Ihnen entweichen an zahllosen Stellen kochende Quellen, zischende Fumarolen, Dampfstrahlen und heiße Schlammsprudel. Im ganzen kennt man 8000 derartige Ausbruchsstellen. Als größte Sehenswürdigkeit des Yellowstoneparks gelten die 84 in regelmäßigen Zwischenräumen von wenigen Minuten bis zu mehreren Wochen springenden Geiser, eine der sonderbarsten Naturerscheinungen, auf deren Erklärung wir weiter unten zu sprechen kommen. Fast alle heißen Gewässer des Parks enthalten viel Kieselsäure in Lösung, die sie beim Verdampfen als Kieselsinter abscheiden. Wunderbare Landschaftsformen von reichster Mannigfaltigkeit, hohe Säulen und steile Kegel, flache Kuppen mit Kraterkesseln, wasserfallartige Terrassen und niedrige Tafelberge sind von diesen Sinterabsätzen aufgebaut. Nur die sogenannten Mammutquellen enthalten an Stelle von Kieselsäure kohlensauren Kalk in Lösung und haben

diesen als Kalktuff wieder ausgeschieden, dessen strahlendweiße Massen von weitem den Eindruck eines Gletschers hervorrufen. Diese Quellabsätze bilden einen $1^1/_2$ km langen Hügelrücken, auf dessen Terrassen das Wasser in kreisrunden Becken dampft und wallt (Abb. 75) und beim Überfließen an den Abhängen die seltsamsten Stalaktiten abscheidet.

Ein Schritt weiter führt uns zu den kalten kohlensäurereichen Quellen oder Säuerlingen. Sie sind namentlich in Gegenden verbreitet, wo die vulkanische Tätigkeit seit geraumer Zeit erloschen ist, so in der Eifel, in einzelnen Tälern des Harzes, im nördlichen Böhmen usw., bilden also offenbar den letzten Nachklang der vulkanischen Erscheinungen. Zweifellos stammt lediglich die Kohlensäure aus dem erstarrenden Schmelzherde, das Wasser ist gewöhnliches Grund- oder Sickerwasser, das sich auf langen, unterirdischen Wanderwegen durch kohlensäuregetränkte Erdschichten mit diesem Gase beladen hat.

In allen bisher besprochenen Fällen finden die Dämpfe und heißen Wasser offenbar ziemlich leicht ihren Weg zur Oberwelt. Wie aber, wenn sie im Erdinnern zurückgehalten werden oder nur überaus langsam entweichen können? Das ist zunächst von großer Bedeutung für den Schmelzfluß selbst, der unter diesen Verhältnissen zu einem ganz anderen Gestein erstarrt, als wenn er seine Gase vorzeitig und schnell abgeben muß. Er bildet sich vollkommen kristallinisch aus, wird zum körnigen Tiefengestein (Beispiel: Granit), während im entgegengesetzten Fall die Kristallisation unregelmäßig und mit Unterbrechungen vor sich geht, was ein ungleichmäßiges Gefüge der sich bildenden Gesteine zur Folge hat. So erstarrt ein und derselbe Glutbrei zu schönem, körnigem Granit oder zu dichter, rauher Lava (Liparit), je nachdem er seinen Gasgehalt langsam oder schnell verliert. Auf dieser doppelten Bildungsmöglichkeit beruht die Zweiteilung der aus dem Schmelzfluß kristallisierten Felsarten in Tiefen- und Oberflächen- oder Ergußsteine. (Vgl. die Einleitung.)

Die Gase der Tiefenvulkane erfüllen noch eine zweite wichtige Aufgabe: sie durchtränken bei ihrem allmählichen Entweichen die ganze umgebende, meist aus Schichtgesteinen bestehende Zone und bewirken darin eine weitgehende Metamorphose. Bei der hohen Temperatur und dem starken Druck, die unter solchen Verhältnissen herrschen, werden die meisten Mineralien von den heißen Dämpfen aufgelöst; tritt später Abkühlung ein, so scheiden sie wieder aus, aber die Gesteine sehen nun nicht mehr aus wie im Wasser abgesetzte Schichten, sondern sind „kristallinisch" geworden. Auch die Entstehung zahlreicher Erzlagerstätten ist zweifellos der Tätigkeit vulkanischer Gase und Heißwasser zu verdanken; viele berühmte, dem Bergbau reiche Ausbeute liefernde Gänge von Silber-, Kupfer-, Quecksilber- und Zinnerzen, ebenso manche Eisenerzlager stehen in so naher Beziehung zu benachbarten Feuergesteinen, daß man ihren Ursprung nur auf diese Quelle zurückführen kann.

Abb. 75. Kalksinterterrassen im Yellowstone-Park.

Massige Vulkane.

Aus der soeben gegebenen flüchtigen Übersicht der vulkanischen Erscheinungen wird der Leser ein vorläufiges Bild ihrer reichen Mannigfaltigkeit und ihrer Bedeutung für den Aufbau der Erdkruste gewinnen. Nur noch eine zweite geologische Kraft darf annähernd den

gleichen Rang beanspruchen: das Wasser in seinen zahlreichen Erscheinungsformen, als atmosphärische Feuchtigkeit, als Regen, Schnee und Eis, als fließender Strom über und unter der Erde, als stiller Binnensee und als weite, die Länder umgürtende Salzflut. Streng genommen, ist ja auch alles Wasser „vulkanisch" und entstammt im letzten Grunde den schmelzflüssigen Massen des Erdinnern, aber einmal an die Oberfläche gekommen, hat es sich gleichsam emanzipiert, verfolgt seine eigenen Bahnen und arbeitet in zahlreicher Beziehung seinem Erzeuger, dem Vulkanismus, direkt entgegen. Von der mannigfaltigen, bald aufbauenden, bald niederreißenden Tätigkeit des flüssigen Elements werden wir später noch vieles hören, hier ist unsere Aufgabe, einigen besonders wichtigen Äußerungen der vulkanischen Kräfte etwas näher nachzuforschen.

Abb. 76. Der japanische Schichtvulkan Fusiyama.

Wie sich der Ausbruch eines feuerspeienden Berges abspielt, ist, wenigstens aus Zeitungsnachrichten, jedem Gebildeten bekannt. Sucht man sich aber über die Entstehung eines solchen Berges, z. B. des Vesuvs, klar zu werden, so stellt sich bald heraus, daß sie das Ergebnis ziemlich verwickelter Vorgänge ist. Der Vesuv hat eine lange Entwicklungsgeschichte hinter sich, schon vor dem Ausbruch, der Pompeji verschüttete, war er uralt und hat im Laufe der Jahrtausende seine Gestalt öfters wesentlich geändert. Fast alle Feuerberge der Gegenwart sind „zusammengesetzte" oder „Schichtvulkane", d. h. sie bestehen aus abwechselnden Lagen loser Auswurfsmassen (Asche, Steine) und ausgeflossener Lavaströme. Ob tätig oder erloschen, immer besitzen sie mindestens einen deutlichen Krater, oft aber mehrere oder viele, indem sich bei jedem größeren Ausbruch ein neuer bildet. In diesem Fall können durch allmähliche Aufschüttung ganze Vulkangebirge entstehen, deren Bau schwierig zu übersehen ist, wie der etwa den Flächenraum des Harzes einnehmende Ätna.

Zum Verständnis der vulkanischen Erscheinungen wird es am besten sein, wenn wir zunächst so verwickelten Vulkanbauten fernbleiben und uns an die einfachsten Formen halten. Zahlreichen Feuerbergen fehlen die Lagen loser Auswurfstoffe und damit die abwechselnde Schichtung; sie bestehen nur aus erhärteter Lava und machen den Eindruck, als seien sie aus einem Guß, durch eine einzige Kraftwirkung der unterirdischen Gewalten geschaffen worden. Man nennt sie massige, gleichartige (homogene) oder Domvulkane. Äußerlich unterscheiden sie sich von der anderen Gruppe, den Schichtvulkanen, wohl am auffälligsten dadurch, daß ihnen die Krater fehlen. Der Hohlraum, der unter anderen Umständen zum Krater hätte werden können, ist ebenso wie der Verbindungskanal mit dem Erdinnern von festem, meist sehr gleichmäßig beschaffenem Gestein ausgefüllt.

Aber auch die Bergform als Ganzes ist eine andere. Schichtvulkane vom reinsten Typus besitzen die Gestalt steiler, oben abgestumpfter Kegel. Abb. 76 zeigt uns den berühmten Fusiyama, den heiligen Berg der Japaner, wie er, von Jokohama aus gesehen, majestätisch über 3700 Meter hoch aufsteigt. Es gibt kaum einen zweiten feuerspeienden Berg, der an Reinheit des Profils, an Schönheit der Form diesem Wahrzeichen des Landes der aufgehenden Sonne gleichkäme.

Demgegenüber bieten die Domvulkane, wie schon ihr Name andeutet, das Bild abgerundeter Kuppen, glockenförmiger Hügel oder wallartiger Bergrücken. Sehr bezeichnend für ihren Charakter sind die sogenannten Quellkuppen, von denen wir in Abb. 77 ein Beispiel geben. Sie gingen hervor aus Ergüssen einer ungemein zähflüssigen Lava, die gleichsam wie ein riesiger Tropfen aus der Erde hervorquoll und, ohne diese Gestalt wesentlich zu verändern, zu festem kristallinischem Gestein erstarrte.

Diese hochgewölbte Glockenform setzt, wie gesagt, eine außerordentliche Zähflüssigkeit der Lava voraus und ist daher ziemlich selten. Weit häufiger begegnet man breitgewölbten Kuppen,

die wie gewaltige Beulen der Erdrinde aus flacherem Gelände hervortreten. Einer der prächtigsten Domvulkane dieser Gattung ist der 1200 m hohe Clierzou unweit der Stadt Clermont-Ferrand in der Auvergne (Abb. 78). Die breitgeschwungene Wölbung, die allseitig gleichmäßige Rundung der Abhänge sind in solcher Vollkommenheit ausgebildet, daß der Berg geradezu als Modell eines massigen Vulkans gelten kann. Die Lava des Clierzou erscheint als weißes, rauh anzufühlendes Gestein, das in ganz ähnlicher Ausbildung am Drachenfels bei Bonn vorkommt und Trachyt genannt wird.

Übrigens wird es unter den Lesern dieses Buches wenige geben, die nicht schon den einen oder anderen massigen Vulkan gesehen hätten. In Süd- und Mitteldeutschland ist diese massigen Vulkans beobachtet worden ist, eine Tatsache, die um so merkwürdiger erscheint, als in der, geologisch gesprochen, gar nicht weit zurückliegenden Tertiärzeit derartige Ergüsse geradezu eine alltägliche Naturerscheinung waren. Indessen ist zu bedenken, daß damals die Erde überhaupt weitaus unruhiger war als heutzutage. Was wir an vulkanischen Ausbrüchen in der Gegenwart erleben, sind bei aller momentaner Furchtbarkeit doch nur Nachklänge der ungleich gewaltigeren Katastrophen der Tertiärzeit. Es scheint, daß zur Bildung der Domvulkane ein weit größeres Maß Energie notwendig ist, als dem Vulkanismus der Jetztzeit zur Verfügung steht. Die im Tertiär entstandenen peripherischen Herde haben sich zum großen Teil erschöpft, und die Mehrzahl der

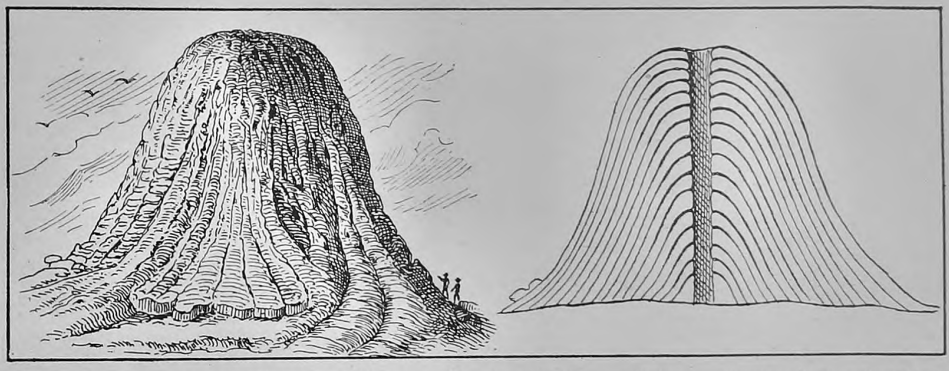


Abb. 77. Links: die Marmelon Central, Quellkuppe am Gipfel des Vulkans von Bourbon. Rechts: Idealer Durchschnitt durch die Marmelon Central zur Veranschaulichung der „Zwiebelstruktur".

Bergform ungemein verbreitet. Wer vom Drachenfels im Siebengebirge landeinwärts schaut, kann gleich ein Dutzend auf einmal überblicken. Der Schwabe kennt die vulkanischen Kegel des Hegau (Hohentwiel, Hohenkrähen u. a.), der Thüringer die Kuppen der Gleichberge bei Römhild, der Hesse die Basaltberge der Rhön, des Habichts- und Kaufungerwaldes, der Badener das durch und durch vulkanische Kaiserstuhlgebirge, der Schlesier die Landeskrone bei Görlitz usw. Wir könnten mehrere Seiten mit Namen füllen, wollten wir sämtliche Domvulkane des Deutschen Reichs aufzählen.

Sie sind allesamt erloschen, — selbstverständlich, das liegt ja im Begriff eines massigen Vulkans, der einem einmaligen, rasch vorübergehenden Ausbruch sein Dasein verdankt. Auffallen mag nur, daß auf der ganzen Erde seit Menschengedenken niemals die Entstehung eines alten Verbindungswege ist eingegangen; gegenwärtig reicht die Spannkraft der unterirdischen Schmelzzone nicht aus, neue zu schaffen, vielmehr genügt ihr eine verhältnismäßig geringe Zahl von Kanälen, den Überschuß an Gasen, Wasser und Lava nach oben zu entladen. Ob wirklich in historischer Zeit niemals Domvulkane entstanden sind, steht übrigens noch dahin. Wir besitzen aus dem klassischen Altertum einen Bericht, den man nur auf ein ähnliches Ereignis beziehen kann, und wenn auch der Wert dieses Zeugnisses vielfach angezweifelt wird, ist es doch so merkwürdig, daß wir es dem Leser nicht vorenthalten wollen.

Der römische Dichter Ovid gibt im fünfzehnten Buch seiner „Metamorphosen" die drastische Beschreibung einer Quellung und Auftreibung der Erdrinde, deren Schauplatz die Halbinsel Methana am Golf von Ägina ge-

wesen sein soll. Wir lassen die Stelle in der Übersetzung von R. Suchier hier folgen.

Nahe der Pittheusstadt Trözen ist ein ragender Hügel,
Ganz von Bäumen entblößt, vorzeiten ein ebenes Blachfeld,
Jetzt ansteigende Höhe; denn — grausig zu sagendes Schrecknis —
Tosender Winde Gewalt, die, in finsteren Höhlen verschlossen,
Auszuschnauben gestrebt und am freieren Himmel zu schweifen
Ringend umsonst sich lange bemüht, weil nirgends am ganzen
Kerker ein Spalt sich fand, und der Ausweg fehlte dem Sausen,
Trieb aufblähend den Grund, gleichwie wenn Blasen der Atem
Anschwellt oder das Fell vom Rücken des doppeltgehörnten
Geisbocks. Jene Geschwulst an dem Orte verblieb, und ein hoher
Hügel erscheint sie jetzt und ist hart vom langen Bestande.

Liegt nun dieser poetischen Darstellung etwas Tatsächliches zugrunde? Das ist eine Frage, die schon manche Federn — von Philologen wie Naturforschern — in Bewegung gesetzt hat. Mit Sicherheit ist sie nicht zu beantworten. Wohl bildet den Hauptgipfel von Methana ein geradezu „klassischer" Domvulkan: eine gewaltige Kuppe trachytischer Lava, offenbar entstanden durch ruhiges Aufsteigen zäher, schmelzflüssiger Massen, die von einem Mittelpunkt aus nach allen Seiten überquollen; aber es gibt in der Nähe auch einen echten Kratervulkan, dessen rotbraune, schlackige Lava scharf von dem hellen, körnigen Trachyt absticht. Dieser zweite Vulkan ist wohl sicher ein Kind unseres Zeitalters, und auf ihn hat man Berichte des Geographen Strabo und des Geschichtsschreibers Pausanias bezogen, denen die wissenschaftliche Welt mehr Zutrauen schenkt als der dichterisch geschmückten Erzählung Ovids, — ob mit Recht, mag dahingestellt sein.

Pausanias verlegt das Ereignis in die Regierungszeit des mazedonischen Königs Antigonos Gonatas (277—240 v. Chr.) und läßt, wie Ovid, den Vulkan auf dem Festlande entstehen, während Strabo, wie wir gleich sehen werden, von einem unterseeischen Ausbruch spricht. Nach seiner Darstellung wurde bei Methana durch „feuriges Aufblasen" ein Berg

Abb. 78. Der Clierzou in der Auvergne, ein trachytischer Domvulkan.

von sieben Stadien Höhe aufgeworfen (ein Stadion etwa 185 Meter); er war tagsüber unnahbar vor Hitze und Schwefelqualm, leuchtete nachts weithin und verbreitete so stark Wärme, daß das Meer auf fünf Stadien Entfernung ins Sieden geriet; zwanzig Stadien weit war es getrübt und wurde zum Teil von turmhohen Felsblöcken verschüttet. Strabos Beschreibung paßt allein auf einen Ausbruch, bei dem gewaltige Massen loser Steine ausgeschleudert wurden, also auf die Bildung eines Krater- oder Schichtvulkans.

Nach alledem liegt die Vermutung nahe, daß die drei alten Schriftsteller von ganz verschie-

denen Ereignissen reden. Wie man aber auch darüber denken mag, unbedingt ist die klare und anschauliche Darstellung Ovids sehr merkwürdig, und man wird sich nur schwer der Überzeugung verschließen können, daß ihr eine tatsächliche, vom Dichter aus älteren Quellen übernommene Beobachtung zugrunde liegt. —

Kehren wir zum Bau der Domvulkane zurück! Außer der Kuppe müssen sie einen Zuleitungskanal (oder auch mehrere) besitzen, von dessen Mündung aus die schmelzflüssigen Gesteinmassen sich zu Kuppen und Kegeln auftürmten, aber dieser „Stiel" des Berges wird naturgemäß meistens von den durchbrochenen Erd- und Gesteinschichten vollkommen bedeckt sein. Immerhin hat man ihn unter günstigen Umständen nachweisen können, so beim Basaltvulkan der Burg Stolpen in Sachsen, deren über achtzig Meter tiefer Schloßbrunnen, wie Abb. 79 zeigt, mit seiner unteren Hälfte gerade in den „Stiel" eingelassen ist. Das umgebende Gestein ist Gra-

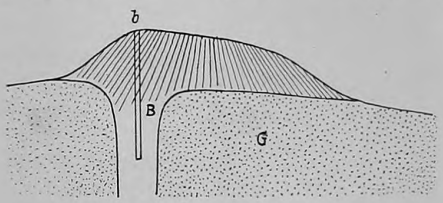


Abb. 79. Profil des Stolpener Schloßbergs.
B Basalt, G Granit, b Schloßbrunnen.

nit (G); ihn hat der Basalt (B) durchbrochen und sich dann an der Oberfläche zu einer schiefen, stark abgestumpften Kuppe ausgebreitet. Ein ähnliches Beispiel, das der Meißner im hessischen Bergland bietet, werden wir weiter unten kennen lernen.

Das innere Gefüge der massigen Vulkane wechselt im allgemeinen mit der Beschaffenheit der Lava und bietet allerhand Merkwürdiges. Manche Kuppen bestehen ganz und gar aus zwiebelartig übereinanderliegenden Gesteinschalen — die sogenannte Zwiebelstruktur, von der Abb. 77 eine Vorstellung gibt —, andere aus einem Haufwerk riesiger, dicht aneinander gedrängter Säulen. Zum Verständnis dieser Erscheinungen ist es nötig, die hauptsächlichsten Gesteine der Domvulkane zu besprechen.

Mit dem Wort Lava kommen wir hier nicht mehr aus. Lava ist eigentlich alles glutflüssige Gesteinmaterial, das an die Erdoberfläche oder in die obersten Schichten der Erdkruste emporgelangt und dort erstarrt. Im engeren Sinne werden so die schlackigen, blasigen Felsarten genannt, die unmittelbar an der Oberfläche infolge plötzlichen Entweichens der Gase und sehr rascher Abkühlung des Schmelzflusses entstehen. Manche Lavaströme sind durch und durch schlackig, andere besitzen nur eine Schlackenhülle und gehen nach innen allmählich in einen festen, kristallinischen, „steinartigen" Kern über, der zwar keine „Lava" im obigen Sinn ist, aber trotzdem so bezeichnet wird.

Die Schmelzflüsse und die aus ihnen hervorgehenden Lavagesteine können recht verschieden zusammengesetzt sein. Will man sich über ihren Charakter klar werden, so muß man die chemische und mineralogische Untersuchung zu Hilfe nehmen. Am übersichtlichsten lassen sie sich nach ihrem Gehalt an bestimmten chemischen Verbindungen gruppieren. Hauptsächlich kommt es darauf an, wieviel Kieselsäure, wieviel Kalk, Eisen und Alkalien (Kali und Natron) ein Gestein führt. Es ergibt sich auf Grund dieser Merkmale eine Reihe, die mit kieselsäurereichen, kalk- und eisenarmen Gliedern beginnt und mit kieselarmen, kalk- und eisenreichen abschließt. Die Beobachtung lehrt, daß die gradweise chemische Veränderung zugleich einem Wechsel der Farbe und des Gewichtes entspricht. Die kieselsäurereichsten Glieder sind sehr leichte und helle, oft ganz weiße Laven, während die kieselsäureärmsten sich durch völlig schwarze Farbe und schweres Gewicht auszeichnen. Dazwischen gibt es alle nur möglichen Übergänge.

Man spricht auch von „sauren" Gesteinen, womit man die hellen, kieselsäurereichen meint, und von „basischen", die das Gegenteil bedeuten. „Basen" heißen in der Chemie die Sauerstoffverbindungen der Metalle, von denen Kalk und Eisen, wie erwähnt, in den dunklen Laven vorherrschen. Diese Bezeichnungen sind so einfach und bequem, daß wir in Zukunft öfters davon Gebrauch machen wollen.

Eine saure, sehr helle Lava ist der Trachyt, dessen zackige Felsen den Drachenfels und einige andere Kuppen des Siebengebirges aufbauen. Das Gestein ist berühmt, — die älteren Teile des Kölner Doms sind daraus erbaut. Wer ein frisch geschlagenes Bruchstück zur Hand nimmt (in den Steinbrüchen an Ort und Stelle kann man leicht ein solches auflesen), wird über dessen außerordentliche Rauheit erstaunt sein. Dieser Eigenschaft verdankt der Trachyt seinen Namen (griechisch trachys — rauh), sie ist eine Folge des feinporigen Gefüges der Gesteinmasse. Mehr noch verwundern den Beobachter vielleicht große, sechseckige Tafeln, die auffällig aus dem

feinpunktierten Gestein hervortreten. Sie sind glatt und glänzen lebhaft. Wir haben in ihnen Kristalle von Feldspat (sogenanntem Sanidin) vor uns, die, schon fertig gebildet, in dem schmelzflüssigen Teig schwammen, als der Ausbruch sich erst vorbereitete. Später wurden sie von der erstarrenden Lava fest umschlossen und bilden nun einen charakteristischen Bestandteil des Trachyts.

Ein Schritt weiter führt uns zu den Phonoliten oder Klingsteinen, etwas dunkleren, meist grünlichen Laven, die sich durch einen auffälligen Fettglanz von allen übrigen unterscheiden. Ihren Namen verdanken sie dem hellen, fast metallischen Klang, den dünne Platten beim Anschlagen mit dem Hammer hören lassen. Klingsteinvulkane, oft von prächtiger

Abb. 80. Blick vom Hohentwiel auf den Hegau. Landschaft mit vereinzelten Domvulkanen. (Photogr. v. d. Trappen.)

Kuppenform, treffen wir innerhalb Mitteleuropas namentlich auf badischem und böhmischem Gebiet. Dort ist es vor allem der Hegau, dessen steile, aus flachem Gelände isoliert aufsteigende, burgengeschmückte Vulkankegel der Landschaft einen eigenartigen Charakter verleihen (Abb. 80). Nicht alle bestehen aus Phonolith, ein Teil, z. B. der Höhenhöwen, ist aus basaltischer Lava aufgetürmt. Unter den Klingsteinkuppen genießt keine solchen Ruhm wie die Perle des Hegaus, die Felsenburg der Herzogin Hadwig, der stolze, poesieumwobene Hohentwiel. Nicht nur dem Freund Ekkehards, nicht nur dem Historiker und Altertumsforscher bietet er viel Interessantes, auch dem Geologen gelingt an seinen Hängen manch merkwürdiger Fund.

An der Nordseite des Kegels, versteckt hinter dichtem Gebüsch, steigt senkrecht eine Felswand empor, deren grauer Klingstein kreuz und quer von hellgoldgelben, etwa fingerdicken Adern durchzogen wird. Audifax, der Hirtenknabe, hielt den eingesprengten Stoff für Gold; der gelehrte Mönch Ekkehard kannte ihn nicht. Wir wissen, daß er mit Gold nichts zu tun hat, sondern ein natron- und wasserreiches Mineral ist, ein Salz der Kieselsäure, genannt Natrolith. Wahrscheinlich durchtränkten dort, wo er vorkommt, heiße Gewässer den Phonolith, zersetzten seine natronreichen Bestandteile und schieden den gelösten Stoff in Form der goldgelben Adern auf den zahllosen Klüften und Rissen des zersprengten Gesteins wieder aus.

Eine der allerdunkelsten Laven ist der Basalt, zugleich, wenigstens in Mitteleuropa, die am weitesten verbreitete. Basalt ist so bekannt, daß sich eine Beschreibung seines Aussehens wohl erübrigt; findet doch das ungemein harte, verbandsfeste Gestein fast in allen Städten Verwendung zur Straßenpflasterung; dementsprechend ist der Bedarf an Basaltsteinen unablässig im Steigen begriffen, und immer mehr Basaltvulkane verschwinden infolge des regen Steinbruchbetriebs allmählich von der Erdoberfläche. Schade! das deutsche Mittelgebirge verliert durch diesen Eingriff seine reizvollsten Formen; denn gerade die steilen Basaltkegel sind es, die in das öde Einerlei der breiten Sandstein-, Schiefer- und Muschelkalkrücken ein wenig Abwechslung bringen. Zu hoffen steht, daß in Zukunft der Abbau hauptsächlich unterirdisch geschieht; dadurch würden die äußeren Bergformen wenigstens teilweise erhalten bleiben. —

Merkwürdig ist, daß die Natur in gewisser Hinsicht dem Steinbruchbetrieb schon vorgearbeitet hat. Wenn Lava erkaltet, zieht sie sich zusammen und zerfällt dabei in große Platten, „Bänke" oder „Schalen", die sich häufig der äußeren Form der ganzen Lavamasse anschmiegen, bei einem Domvulkan also auf dem Gipfel flach liegen und von dort nach allen Seiten mehr oder weniger steil abfallen. Ursache dieses

Zerreißens der Lava ist der Widerstand, den die inneren noch heißen Teile der einschrumpfenden, schon erstarrten Rinde entgegensetzen. Am vollkommensten tritt die Erscheinung in der oben

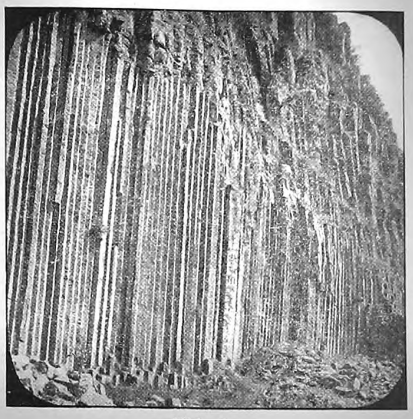


Abb. 8.
Felswand aus Basaltsäulen.

erwähnten „Zwiebelstruktur" hervor, hier liefert jede Schale ein getreues Abbild der äußeren Gestalt des Berges. Man trifft dieses Gefüge namentlich bei Klingsteinkuppen, so beim Hohentwiel und dem ausgezeichnet glockenförmigen Milleschauer im nördlichen Böhmen; aber warum gerade die phonolithische Lava zu solcher Schalenbildung neigt, ist unbekannt. Saure Laven, wie z. B. die trachytischen, zerfallen beim Erkalten ebenfalls in Platten und Bänke, die aber von der schönen Regelmäßigkeit der Klingsteinberge meist keine Spur erkennen lassen. Ordnungslos, ohne bestimmte Regel, bald eben, bald wellig verlaufen bei ihnen die trennenden Klüfte.

Nach einem ganz anderen Bauplan sind die meisten Basaltvulkane gebildet, sie bestehen aus lauter riesigen Säulen, die oft die Form auffallend regelmäßiger, fünf bis sechsseitiger Prismen annehmen (Abb. 81). Gewöhnlich tritt eine Quergliederung hinzu, so daß man den Eindruck hat, als seien die Säulen aus lauter einzelnen aufeinander gefügten Stücken errichtet. Dann können die Glieder mit ebenen Flächen aufeinander ruhen oder aber, was sehr merkwürdig ist, sie sind gelenkartig ineinander gefügt; d. h. die untere gewölbte Fläche jedes Teilstücks paßt genau in die obere, hohle des nächstfolgenden Gliedes (Abb. 82). Die Ursache dieser so auffällig an Bildungen der organischen Welt erinnernden Erscheinung ist vollständig unbekannt.

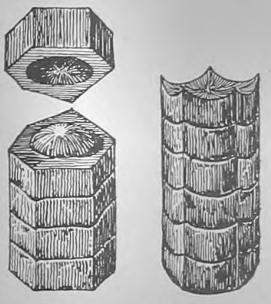


Abb. 82. Gelenkartig verbundene Basaltsäulenglieder.

Im großen können die aus Säulen aufgebauten Kuppen wieder verschiedenerlei Gefüge besitzen. Bald strahlen die Säulen vom Mittelpunkt des Berges wie ein ungeheures Büschel nach außen, bald laufen sie fächerartig vom Gipfel in schräger Richtung nach unten auseinander (Abb. 84), häufig sind sie auch alle ziemlich gleich gerichtet und steigen dann zumeist senkrecht, einem gewaltigen Pfahlwerk gleichend, aus der Erde empor. Ein Beispiel für den letzteren Fall bildet die altberühmte sagenumwobene Fingalshöhle auf der Hebrideninsel Staffa (Abb. 83). Daß die eingeborenen Gälen dieses merkwürdige Bauwerk nicht der Natur, sondern der Arbeit von Riesenhänden zuschreiben, wird jedermann begreiflich finden. Hat man doch noch vor wenigen Jahren allen Ernstes behauptet, die Fingalshöhle müsse von Menschen erbaut worden sein, weil die einzelnen Säulenglieder durch Mörtel miteinander ver-

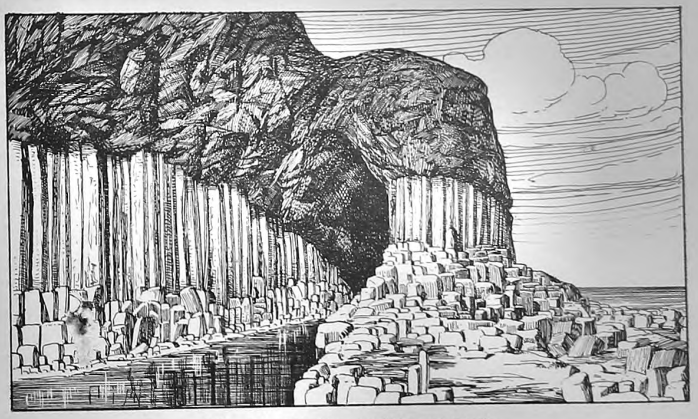


Abb. 83. Die Fingalshöhle auf Staffa.

kittet seien. Dieser Mörtel ist in Wirklichkeit ein toniger Belag, der sich in zahllosen Fällen dort bildet, wo Spalten und Kluftflächen die Gesteine durchsetzen.

Ungegliederte Basaltsäulen besitzen einen so festen Zusammenhalt, daß sie im natürlichen Zustande, wie sie aus den Steinbrüchen hervorgehen, als riesenhafte Pfeiler verschickt und zu

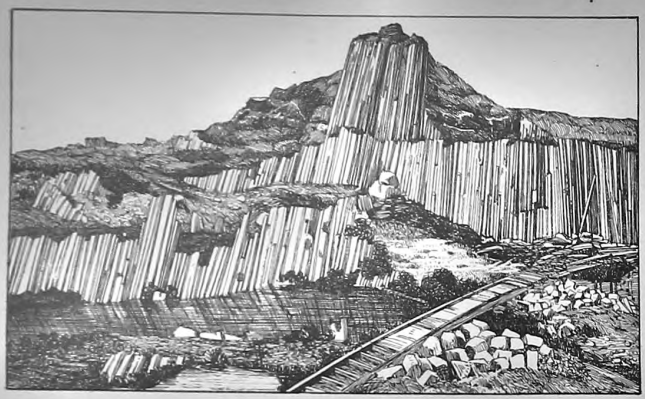


Abb. 84. Der Herrenhäuser Stein, ein Basaltvulkan bei Steinschönau in Böhmen.

Dammbauten und dergleichen verwendet werden. Wer nach Bonn kommt, versäume nicht, das geologische Museum im Poppelsdorfer Schlosse zu besuchen, wo im sogenannten Muschelsaal Basaltpfeiler von annähernd 10 Meter Höhe aufgestellt sind. Sie stammen durchweg aus rheinischen Steinbrüchen. Noch eine andere

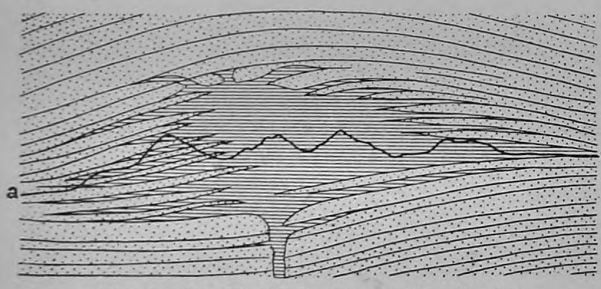


Abb. 85. Querschnitt durch einen Lakkolithen, schematisch. Die Linie aa bezeichnet die heutige Oberfläche. (Nach Reilhack.)

Merkwürdigkeit kann der Besucher daselbst bewundern: verkohlte Baumstämme der Vorzeit, eingeschlossen in Säulen vulkanischen Gesteins, die letzten Reste eines uralten Waldes, den der glühende Basaltfluß verbrannt und vernichtet hat (vgl. S. 20).

Gelegentlich haben auch saure Laven beim Erkalten den säulenförmigen Aufbau angenommen, doch ist er bei ihnen höchst selten so schön entwickelt wie bei den Basalten. Die Palisaden des Hudsonflusses, von denen bei Besprechung der Trias die Rede war, gehören zwar nicht dem Basalt, aber doch ebenfalls einer dunklen, basischen Lava an. Im allgemeinen stehen die Säulen überall senkrecht zur Abkühlungsfläche, also bei gewölbten Kuppen radial, bei flachen Bergrücken vertikal; daß es aber auch Ausnahmen gibt, zeigt das Beispiel des Herrenhäuser Steins (Abb. 84), bei dem die Säulen gerade entgegengesetzt gestellt sind, als nach obiger Regel zu erwarten wäre.

Vorbedingung der säulenförmigen Erstarrung scheint eine ungemein plötzliche Abkühlung des Schmelzflusses zu sein. Diese tritt ein, wenn der glühende Lavastrom jählings mit kalten Wassermassen in Berührung kommt, also wenn er das Meer, einen großen Binnensee oder Fluß erreicht. Soweit man an frischen Lavaergüssen der Gegenwart den Vorgang der Säulenbildung beobachten konnte, hat man diese Auffassung bestätigt gefunden. Von den älteren, zumeist der Tertiärzeit entstammenden Säulenvulkanen liegen noch heute manche direkt am Meer, z. B. die Fingalshöhle und der merkwürdige „Riesendamm", eine mit niedrigen Basaltprismen gepflasterte Strandterrasse an der irischen Küste; für viele andere läßt sich der Nachweis führen, daß zur Zeit ihrer Entstehung die Ebene, aus der sie aufragen, vom Meere bedeckt war.

Der innere Bau der Domvulkane ist darum so wichtig, weil er uns den untrüglichen Beweis liefert, daß jene Kuppen und Kegel nur einem einzigen Lavaerguß ihre Entstehung verdanken. Es ist ohne weiteres klar, daß so regelmäßige Gebilde, wie die aus übereinanderliegenden Schalen oder aus fächerförmig oder parallel gestellten Säulen aufgebauten Berge, nur entstehen konnten, wenn die schmelzflüssigen Massen Gelegenheit fanden, in aller Ruhe, ohne jede Störung durch spätere Ausbrüche zu erstarren. Wo ausnahmsweise noch

Nachschübe glühenden Materials stattfanden, kam es auch stets zu einem bedeutend verwickelteren Aufbau des Vulkans.

Bislang war nur von Domvulkanen die Rede, die sich als Berge über die heutige Erdoberfläche erheben. Aber damit ist ihre Verbreitung nicht erschöpft. Die aufsteigende Lava gelangte oft gar nicht bis zur Oberfläche, sie blieb in den obersten Schichten der Erdrinde stecken und erstarrte dort zu unterirdischen Kuppeln, einer besonderen Form der Tiefenvulkane, die man als „Lakkolithe" bezeichnet.

Das Wort stammt aus dem Griechischen (lakkos „Loch", „Grube", lithos „Stein") und soll andeuten, daß die Gesteine, um die es sich hier handelt, in unterirdischen Hohlräumen entstanden sind. Diese Hohlräume existieren jedoch keineswegs von vornherein, sondern wurden erst von der empordringenden Lava geschaffen. Der zähe Glutbrei preßte die überlagernden Schichten zur Seite und nach oben, wölbte sie in der Mitte bergartig empor und grub sich so eine Lagerstatt in dem nachgiebigen, meist aus weichen Schichtgesteinen bestehenden Material. Abb. 85 erläutert diesen Werdegang. Man erkennt den domartigen Kern des Lakkolithen und seinen Zuleitungskanal. Von der Kuppel des Kerns steigen Lavagänge in die aufgewölbte Decke empor, seitlich aber breitet sich der Schmelzfluß zwischen den Schichtenfugen aus und bildet hier Lager und Bänke vulkanischen Gesteins.

Das Wesen der Lakkolithe haben zuerst amerikanische Geologen erkannt. Im Westen der Vereinigten Staaten, wo Schichten der Kreideperiode weite Hochflächen bilden, liegen zahlreiche vulkanische Erhebungen, wie riesige Kuchen verstreut, auf dem Tafellande. Ihre Böschungen sind steil, ihre Höhe oft bedeutend. Die gewölbte Decke aus Schichtgestein ist bei manchen noch erhalten, bei der Mehrzahl aber vom Wasser weggewaschen, so daß der Kern unverhüllt zutage tritt. Auf der auf S. 92 stehenden Abbildung ist dies durch die Linie a—a angedeutet, deren Verlauf der heutigen Erdoberfläche entspricht. Was darüber liegt, ist abgetragen und verschwunden; der eigentliche „Dom" des Lakkolithen steigt als mehrgipfeliger Bergzug aus flachem Gelände empor.

Amerika ist weit entfernt, daher fragen wir uns, ob Berge dieser Art nicht auch in Deutschland vorkommen. Gewiß, aber bei uns liegen die Verhältnisse nicht so klar und einfach wie auf dem großen amerikanischen Kreideplateau. Es hat sehr gründlicher Untersuchungen bedurft, um die Natur unserer Lakkolithe überhaupt zu erkennen. Durch nachträgliche Gebirgsfaltung und andere Bodenbewegungen ist ihr ursprünglicher Bau oft stark gestört, manchmal bis zur Unkenntlichkeit verändert; in anderen Fällen haben sich jüngere Schichten auf ihnen abgelagert und bereiten durch ihre Gegenwart der geologischen Forschung bedeutende Schwierigkeiten. Immerhin ist in den letzten Jahren der Nachweis gelungen, daß manche deutsche Mittelgebirge, z. B. Kyffhäuser, Erzgebirge, Harz, im Kern aus mächtigen Granit- oder Gneislakkolithen bestehen.

Wie aus obigen Ausführungen hervorgeht, bildet das Vorkommen der Lakkolithe eine wesentliche Stütze der modernen Erhebungstheorie. Die Fähigkeit des vulkanischen Schmelzflusses, die Erdrinde beulenförmig aufzutreiben, tritt bei ihnen in klarster Weise hervor. —

Einer weit verbreiteten Form der massigen Vulkane haben wir noch gar nicht gedacht, der

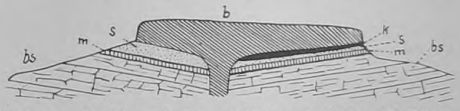


Abb. 86. Profil durch den westlichen Teil des Meißners. (Nach Uthemann.)
bs Buntsandstein, m Muschelkalk, s tertiäre Sande und Tone, k Braunkohlenflöz, b Basalt.

vulkanischen Decken. Lava, die zur Erdoberfläche durchbricht, kann nur unter der Bedingung in Dom- und Kuppenform erstarren, daß sie recht zähflüssig, schwer beweglich ist. Leichtflüssige Lava wird sich im Gegensatz dazu von der Ausbruchsstelle seitwärts ausbreiten und das benachbarte Land überfluten. So entstehen deckenartige Ergüsse, oft mehrere übereinander, die zusammen kilometerdicke Schichten bilden können. Noch erstaunlicher aber sind die enormen Flächenräume, die in manchen Gegenden von ihnen bedeckt werden. So überlagern in Oregon Basaltmassen ein Areal von rund 4500, in Südindien gar von mehr als 7000 Quadratmeilen. An diese gewaltigen Zahlen reichen die deutschen Lavafelder bei weitem nicht heran, selbst das bedeutendste Vulkangebiet unseres Vaterlandes, das Vogelsgebirge, nimmt nur eine Fläche von vierzig Quadratmeilen ein. Noch viel kleiner, aber recht interessant ist das Basaltplateau des Meißners in Hessen. Das Innere dieses Berges ist uns durch den ausgedehnten Braunkohlenbergbau enthüllt. An mehreren Stellen hat man die unterirdischen Zufuhrkanäle des Basalts aufgefunden, die

durch Schichten verschiedenen geologischen Alters (Buntsandstein, Muschelkalk, tertiäre Tone) nahezu senkrecht hindurchsetzen, um sich erst auf dem Gipfelplateau zu einer mehr als hundert Meter mächtigen Decke auszubreiten. Abb. 86 gibt von diesen Lagerungsverhältnissen eine Vorstellung. Man erkennt, daß die glühende Lava sich seinerzeit unmittelbar über die kohleführenden Schichten ergossen hat. Da kann es wunderbar erscheinen, daß nicht die ganze Braunkohle verbrannt ist. In der allerobersten Schicht mag sich dies auch ereignet haben, man findet dort eine Lage, die richtig verkokt, d. h. zu Schlacken von koksartiger Beschaffenheit verbrannt ist. Aber weiter unten hat der basaltische Schmelzfluß eine ganz andere Wirkung ausgeübt. Die gemeine erdige Braunkohle ist hier veredelt und in schwarze, feste Steinkohle, ja stellenweise in glänzenden Anthrazit verwandelt. Die Gase, die bei der Koksbildung entweichen, sind in diesen dichten Steinkohlen noch eingeschlossen, ein Umstand, der ihre Verwendung als Brennmaterial ausschließt; denn beim Erhitzen explodiert solche Kohle und zerspringt zu feinem Sand, der durch jeden Rost hindurchfällt. Glücklicherweise reicht die Einwirkung des Basalts nicht weit in die Tiefe, die Kohle ist ein schlechter Wärmeleiter, und wenige Meter unter der Basaltgrenze ist keine Spur von Umwandlung mehr zu bemerken.

Schichtvulkane.

So mannigfach die Formen der massigen Vulkane auch sind, zeigen sie uns doch nur das Ergebnis einer einzigen, und zwar der einfachsten Äußerung der vulkanischen Kräfte. Alle diese Quellkuppen, Dome, Decken und Lakkolithe müssen Ausbrüchen ihre Entstehung verdanken, die in verhältnismäßiger Ruhe vor sich gingen. Keine Spur von Explosionen, von Zersprengung der überlagernden Gesteinschichten, kein Auswerfen von Bomben, Sand und Asche, wie er jede bedeutendere Eruption der heute tätigen Vulkane begleitet. Die Ursache liegt offenbar in einer abweichenden Beschaffenheit des Schmelzflusses. Während die glutflüssigen Massen, die in den Essen der Schichtvulkane kochen, von Gasen und Dämpfen ganz durchtränkt und erfüllt sind, war die Lava, aus der die massigen Vulkane hervorgingen, nahezu frei von gasförmigen Stoffen.

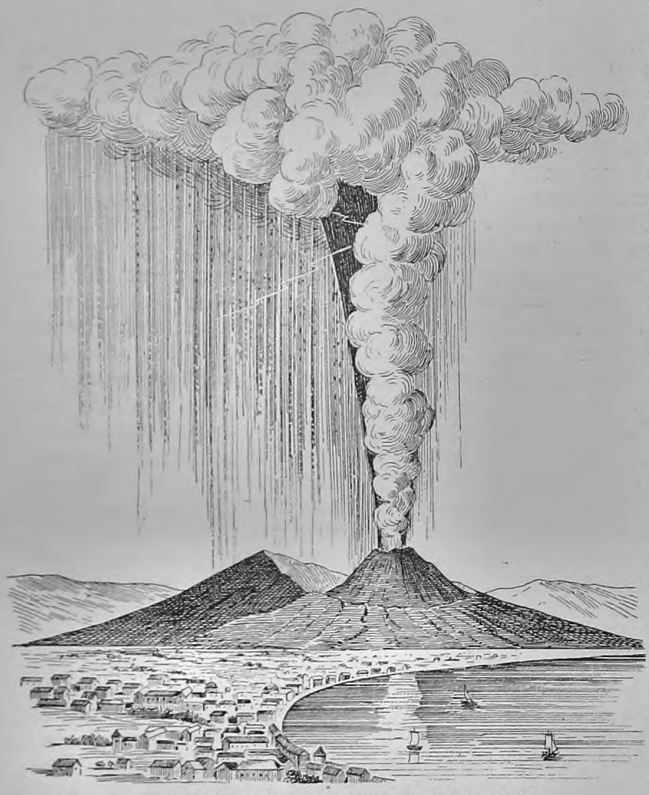


Abb. 87. Ausbruch des Vesuvs im Oktober 1822.

Schon öfters wurde erwähnt, daß Wasserdampf das reichlichste und wirksamste aller vulkanischen Gase ist. In Zeiten schwacher Tätigkeit umlagert er in Form von Wolken den Gipfel des Feuerbergs oder steigt als majestätische, weithin sichtbare Säule aus dem Krater empor, — ein Bild, wie es der Stromboli Tag für Tag den vorbeifahrenden Schiffen bietet. Ungleich gewaltigere Massen von Wasserdampf werden bei großen Ausbrüchen in die Atmosphäre hinausgestoßen. Mächtige Ex-

plosionen finden statt, die den Krater sprengen, Bruchstücke seiner Wandungen und glühende Lavabrocken gen Himmel schleudern; gleichzeitig bricht aus dem glühenden Schlot ein ungeheurer Strahl hervor, der teilweise aus weißen Dampfwolken, teilweise aus dunklen Massen feinverstäubter Lava (Asche) und größeren Schlackenfetzen (Lapilli und Bomben) besteht (Abb. 87). Blitzschnell wächst der Strahl empor zu Höhen von vier bis fünf, ja in manchen Fällen sechs bis zehn Kilometern, und hoch oben breiten sich die weißen Dämpfe nach allen Seiten aus, wie eine riesenhafte Krone über dem schlanken, aus dem Krater emporragenden Stamm, ein Gebilde, das einer ungeheuren Pinie gleicht und in der Regel auch so benannt wird. Nicht selten zeigen sich auch elektrische Erscheinungen. Blitze fahren aus dem Saum der Dampf- und Aschensäule, und Donnerschläge gesellen sich zu dem dröhnenden Getöse, das die Explosionen im Innern des Feuerbergs begleitet. Welch ungeheure Massen von Wasserdampf bei solchen Gelegenheiten dem Schlund des Vulkanes entweichen, ersieht man aus der Gewalt der Regengüsse, die oft von wolkenbruchartiger Stärke an den Abhängen des Berges niedergehen und die Entstehung der gefürchteten Schlammströme veranlassen, die, von den Flanken sich herabwälzend, oft weit verheerender wirken als die Lavaergüsse. Aber auch die Regen an sich können gefährlich werden, wenn sie, was bisweilen vorkommt, Schwefelsäure enthalten. Derartig vergiftete Regen vernichten die Vegetation im weiten Umkreis und machen das Land für längere Zeit kulturunfähig.

Es ist ohne weiteres klar, daß der Ausbruch einer von Gasen und Dämpfen ganz erfüllten Lava unter starken Explosionen vonstatten gehen muß. Wie furchtbar diese werden können, hat die jüngste Vulkankatastrophe auf der Insel Martinique gezeigt, wo die Stadt St. Pierre mit dreißigtausend Einwohnern von einer glühenden, mit rasender Geschwindigkeit daherfahrenden Dampfwolke vernichtet wurde. Wir kommen auf dieses in der Geschichte der Vulkanausbrüche einzig dastehende Ereignis weiter unten zurück.

Eine andere Wirkung der Explosion besteht darin, daß die gewaltsam sich befreienden Gase ungeheure Massen flüssiger Lava in kleine Fetzen und feinen Staub zersprengen und mit sich in die Höhe reißen. Aus solcher „Asche" besteht der dunkle Strahl, der bei heftigen Ausbrüchen neben der weißen, quellenden Dampfsäule kilometerhoch aus dem Krater emporsteigt (Abb. 87). Soweit die Asche noch etwas gröber ist, senkt sie sich in der Umgebung des Vulkans bald wieder zu Boden und verursacht die bekannten Aschenregen, die oft tagelang die Luft verdunkeln und ganzen Ortschaften zum Verhängnis werden. Durch sie wurde beim letzten Ausbruch des Vesuvs, im April 1906, der Flecken Ottajano größtenteils zerstört, und auch in dem verhältnismäßig weit entfernten Neapel mannigfacher Schaden angerichtet. Am gefährlichsten ist es, wenn Asche und vulkanische Gewitterregen gleichzeitig als schwerer, breiartiger Schlamm niedergehen, wie dies allem Anschein nach bei der ältesten, historischen Vesuveruption, der des Jahres 79 n. Chr., sich ereignet hat. Damals begrub solcher Schlammregen die Stadt Pompeji in einer Schicht von sieben Metern Höhe, deren breiige Massen sich so eng an die Oberfläche der verschütteten tierischen und mensch-

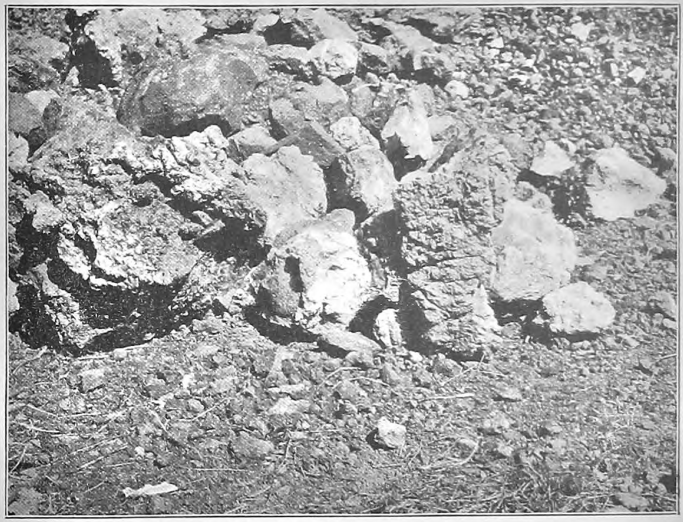


Abb. 88. Haufwerk von Bomben (sogenannten Brotkrustenbomben) und Lapilli am Bausenberg im Brohltal (Eifel). (Photogr. v. d. Trappen.)

lichen Körper anlegten, daß sich getreue Abdrücke von ihnen bis auf unsere Zeit erhielten.

Außer der feinen Asche werden durch die Gewalt der Explosionen auch gröbere Lavafetzen aus dem Krater herausgeschleudert. Man unterscheidet, je nach der Größe, Sand, Lapilli (d. h. Steinchen) und Bomben (Abb. 88). Alle diese „Auswürflinge" sind eigentümlich schlackig und blasig, eine Folge ihrer Erfüllung

Abb. 89. Eine „gedrehte" Bombe vom Vesuvausbruch des Jahres 1872.

mit unzähligen Gasbläschen. Besonders merkwürdig ist die gedrehte, manchmal an einem Ende spitz ausgezogene Form der großen Bomben (Abb. 89). In zähflüssigem Zustand ausgeworfen, erlangen diese Körper während ihres Fluges durch den Widerstand der Luft diese eigenartig gewundene Gestalt.

Der gröbere Sand, die Lapilli, Schlacken und Bomben vermögen sich nur kurze Zeit in der Luft zu erhalten und fallen zumeist auf die Abhänge des Vulkanberges selbst zurück. Hier bilden sie Schichten, die oft bei einem einzigen Ausbruch eine Dicke von vielen Metern erreichen. Ja, ganze Vulkankegel bestehen einzig aus solchen losen Haufwerken und bilden sich bisweilen in erstaunlich kurzer Zeit, so der bekannte Monte Nuovo bei Neapel, ein 150 Meter hoher Schutt- und Aschenkegel, der im Jahre 1538 binnen zwei Tagen aufgeworfen wurde. Das lose Material ist meistens schichtweise gesondert: Lagen von groben und feinen Auswurfstoffen wechseln miteinander ab. Kommen dazu noch Lavaergüsse, so haben wir einen „zusammengesetzten" Vulkanberg, wie z. B. den Vesuv.

Hier sind nun verschiedene Fälle möglich, je nach dem Weg, den die Lava nimmt, um nach außen zu gelangen. Sind die großen Explosionen vorüber, so kann es geschehen, daß die Lava ruhig im Schlot des Vulkans bis zur Kratermündung emporsteigt, dort überquillt, die lockeren Sand- und Blockschichten überflutet und nach einiger Zeit zu festem, vulkanischem Gestein erstarrt. Später beginnt dann von neuem die Auswurfstätigkeit, deren Produkte sich auf der Lavadecke ablagern, und durch öftere Wiederholung dieser Vorgänge bildet sich schließlich ein Kegel, der aus abwechselnden Schichten fester Lava und lockerer Tuffe (so nennt man die Anhäufungen der Auswurfmassen) aufgebaut ist. Abb. 90 zeigt ein ideales Bild eines derartigen Vulkanberges. Die innersten, ganz unten am Kraterrohr gelegenen Schichten sind die ältesten, nach außen und oben kommt man in immer jüngere Bildungen. Die Innenwand des im Jahre 1883 zur Hälfte weggesprengten Krakatau zeigt deutlich den gleichen Aufbau (Abb. 96).

Wächst nun der Kegel durch wiederholte Aufschüttung immer höher, so wird schließlich der Fall eintreten, daß die Lava die hochgelegene Kratermündung nicht mehr zu erreichen vermag — sie muß sich einen anderen Ausweg suchen. Der gewaltige Druck der mit Gasen und Dämpfen getränkten Lavasäule bewirkt eine Sprengung des Kegels. Im Berge klaffen strahlenförmig nach außen verlaufende Spalten, aus denen die Gase entweichen, Asche und Sand ausgeworfen wird, und zuletzt die Lavamassen hervorquellen. Es kommt zur Bildung von Nebenkratern, von „parasitischen" Kegeln an den Flanken des Vulkans (Abb. 91). Deren Zahl kann beim einzelnen Berg ungemein bedeutend sein, so besitzt der Ätna allein rund neunhundert. Der sizilische Feuerberg erhebt sich 3313 Meter über den Spiegel des Mittelländischen Meeres; nur

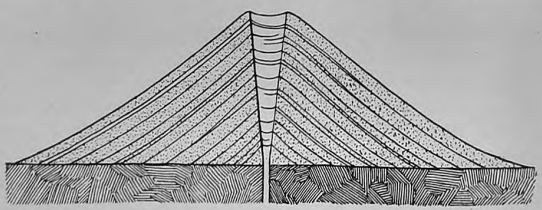


Abb. 90. Profil eines Schichtvulkans mit abwechselnden Lava- und Tuffschichten.

selten gelingt es der empordrängenden Kraft der Lava, diesen bedeutenden Höhenunterschied zu überwinden. Beim Ausbruch des Jahres 1874 bildeten sich im Lauf weniger Stunden 36 neue Seitenkegel an den Abhängen des Ätna.

Die große Zahl der „parasitischen" Krater erklärt sich aus dem Umstand, daß in der Regel jeder von ihnen nur einmal benutzt wird. Die nachdringende Lava füllt die Spalten mit fester

Gesteinmasse aus und schließt sie damit für immer. Spätere Eruptionen müssen sich neue Wege durch lockere Tuffschichten suchen. Berge, wie der Ätna, bestehen aus einem festen Gerippe vom Kern ausstrahlender Lavamauern, zwischen denen überall lose Block- und Aschenmassen angehäuft sind. Abb. 92 versucht den Aufbau solcher Vulkane schematisch zu veranschaulichen; in der Natur tritt er selten deutlich hervor, da die Schuttfelder an der Oberfläche gewöhnlich das ganze Relief gleichmäßig zudecken.

sprengt werden. Einer derartigen Katastrophe ist aller Wahrscheinlichkeit nach der alte, in vorhistorischer Zeit entstandene Vesuvberg, die Somma, im Jahre 79 n. Chr. zum Opfer gefallen. Untersucht man den Aufbau des heutigen Vesuvs, so findet man drei Vulkanberge verschiedenen Alters ineinander geschachtelt. Zu äußerst, doch nur auf der Nordseite erhalten, den Ringwall des Monte Somma, vom Meer zuerst sanft, dann immer steiler bis zur Höhe von 1100 Metern ansteigend. Auf der anderen

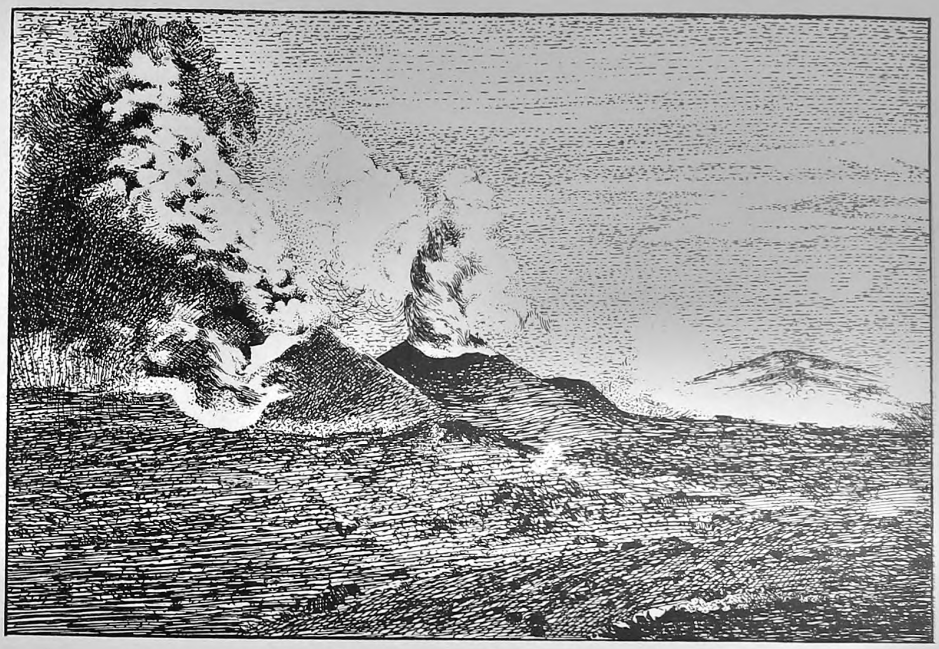


Abb. 91. Einige parasitische Kegel des Ätna, (der im Hintergrund sichtbar ist) entstanden beim Ausbruch des Jahres 1886.

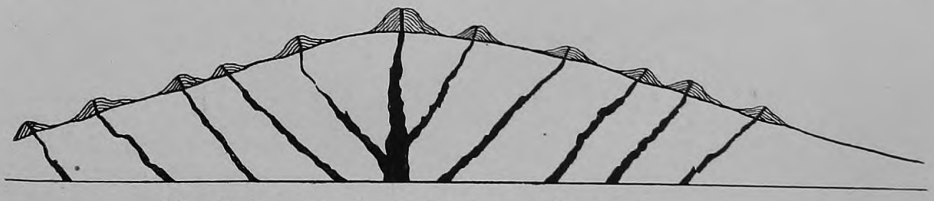


Abb. 92. Schematischer Querschnitt durch einen Vulkan vom Typus des Ätna.

In Ausnahmefällen kann die Explosion der eingesperrten Gasmassen mit so riesenhafter Gewalt erfolgen, daß der ganze Vulkankegel in seinem Innersten zerbirst, und die losgerissenen Teile, zu Staub zerblasen, in die Luft geSeite, nach dem Innern des Ringes, stürzen die Wände fast senkrecht in ein tiefes Tal, das Atrio del Cavallo, ab (Abb. 93). Es ist der letzte Rest des alten Sommakraters, der heutzutage zu einem halbkreisförmigen Graben zwi-

schen dem vorhistorischen Ringwall und dem neueren, eigentlichen Vesuvkegel zusammengeschwunden ist.

Ersteigt man den jenseits des Atrio sich erhebenden Kegelberg, so steht man wiederum vor

Abb. 93. Der Vesuvkegel (links) mit einem Teil des Atrio und der Somma (rechts).

einem Absturz, dem jüngeren, wahrscheinlich im Jahre 79 entstandenen Krater. Aber auch dieser ist in der Gegenwart nicht mehr tätig, in seiner etwa fünfhundert Meter breiten Umwallung hat sich ein zweiter, kleinerer Kegel gebildet, die Bocca, und hier treffen wir erst den Mittelpunkt der heutigen Ausbrüche, den feuerspeienden Schlund, der erst vor wenigen Jahren bewies, welch furchtbarer Kraftäußerung er fähig ist.

Der Kraterwall der Somma muß in früherer Zeit einen geschlossenen Ring von annähernd elliptischer Gestalt gebildet haben, und es spricht viel dafür, daß er diese Gestalt noch zu Beginn unserer Zeitrechnung besaß. Wie bekannt, hielten die alten Römer den Vulkan für erloschen und vollkommen ungefährlich. Die

Abb. 94. Rekonstruktion der Somma. (Nach Cotta.)

Somma diente in den Kriegen jener Zeit mehrmals als natürliche Verteidigungsstätte; so benutzte sie Spartacus, der Führer der aufständischen Sklaven, als Operationsbasis. Dann kam das „Erwachen", die furchtbare Katastrophe unter der Regierung des Kaisers Titus, wobei die Hälfte des Ringwalls in die Luft geblasen und vom Erdboden verschwunden zu sein scheint; an ihrer Stelle wurde der ältere Kegel, das Urbild des heutigen Vesuvs, aufgeschüttet.

Wie der Vulkan vor dieser riesenhaften Explosion ungefähr ausgesehen haben mag, will Abb. 94 veranschaulichen. Die Einzelheiten der Zeichnung sind natürlich hypothetisch, denn Bilder der Somma aus klassischer Zeit besitzen wir nicht. Welch durchgreifende Umformung er seitdem erlitten hat, tritt beim Vergleich der beiden Abbildungen 87 und 94 sehr klar hervor.

In späteren Jahrhunderten hat sich die Form des Vesuvgebirges noch oft verändert, der Kegel war bald höher, bald niedriger als der stehengebliebene Rest der Somma, zeigte überhaupt, selbst im Verlauf ein und derselben

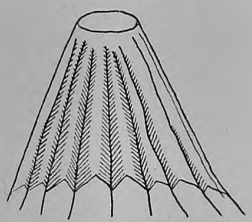


Abb. 95. Vulkankegel mit herablaufenden Schluchten (Barrancas).

Eruption, oft die allerverschiedensten Bilder. Was die vulkanischen Kräfte zu einer Zeit aufbauen, reißen sie zu anderer Zeit wieder ein; Hebungen und Senkungen, Aufwölbungen und Einstürze wechseln oft in verhältnismäßig kurzen Zwischenräumen. Beim letzten großen Ausbruch, im April 1906, ist beispielsweise der Vesuvkegel rund um 100 Meter niedriger geworden. Auch in anderer Weise wurde er damals umgeformt. Die gewaltigen Massen loser Auswurfstoffe, die sich an den Kraterwänden und den oberen Abhängen anhäuften, kamen an manchen Stellen aus dem Gleichgewicht und wälzten sich, verheerenden Stein- und Sandlawinen gleichend, in die Tiefe. Die beiden

Bahnhöfe der Drahtseilbahn wurden durch die Gewalt dieser Massen zerstört. In den lockeren Schichten des Kegels gruben die Lawinen förmliche Schluchten ein, die dann später von den Regenfluten und Schlammströmen noch vertieft wurden, so daß nunmehr der Berg an der Nord- und Nordostseite das Aussehen eines halbaufgespannten Schirmes besitzt.

Man kennt diese Erscheinung, die Abb. 95 schematisch veranschaulicht, auch aus anderen Vulkangebieten. In hervorragend schöner Weise zeigen sie der St. Egmont auf Neuseeland und die Javavulkane. In der Geologie bezeichnet man die herablaufenden Rinnen und Schluchten gewöhnlich mit dem spanischen Wort „Barrancas", wie sie auf der kanarischen Insel Palma, wo man ihren Charakter zuerst studierte, genannt werden.

Die fürchterlichste Vulkanexplosion, von der die Geschichte weiß, ereignete sich im August 1883 in der Sundastraße.

Krakatau ist ein Inselchen mitten zwischen Java und Sumatra, das angeblich an einer besonders gefährdeten Erdstelle, nämlich gerade am Kreuzungspunkt zweier Vulkanspalten, liegt. Wie das zu verstehen ist, soll am Schluß dieses Abschnitts auseinandergesetzt werden. Der Inselvulkan Rakata war schon seit alters als gefährlich bekannt, aber zu einer so beispiellosen Katastrophe, wie in den letzten Augusttagen des Jahres 1883, hatte er sich vordem nie aufgerafft. Nachdem im Mai dieses Jahres die vulkanische Tätigkeit zuerst sehr mäßig eingesetzt hatte, dann zu Anfang August durch enorme Aschenregen die üppige Vegetation des Eilandes vollkommen vernichtet worden war, gingen gegen Ende des Monats die Ausbrüche in ein förmliches Bersten der Eingeweide der Erde über; über zwei Drittel von Krakatau wurden, in Billionen von Stücken und Stückchen zerblasen, hoch in die Atmosphäre hinaufgewirbelt. Wo vorher der Kern der Insel scheinbar festgegründet emporragte, bildete sich ein Meeresbecken von zwei- bis dreihundert Meter Tiefe; der alte Vulkankegel war in der Mitte durchgerissen und bot, als der Paroxysmus überstanden, einen überraschenden Einblick in das Innerste dieser furchtbaren Werkstätte unterirdischer Gewalten (Abb. 96). Mehr als dreißig Kilometer hoch soll die Dampf- und Aschensäule in die Luft emporgestiegen sein; ihre feinsten Teilchen verwehten über das ganze Erdenrund und wurden Ursache jener merkwürdigen, farbenprächtigen Dämmerungserscheinungen, die noch viele Monate nach dem Ausbruch die Menschheit in Erstaunen versetzten. Staubteilchen, die so lange Zeit in der Luft schweben blieben, müssen von einer Feinheit gewesen sein, gegenüber der die winzigen Körnchen der gewöhnlichen Asche noch grob zu nennen sind. Aber auch greifbare Asche, ein weißliches Pulver, wurde noch in Entfernungen mehrerer hundert Kilometer, so bei Perth in Nordaustralien, gesammelt! Die

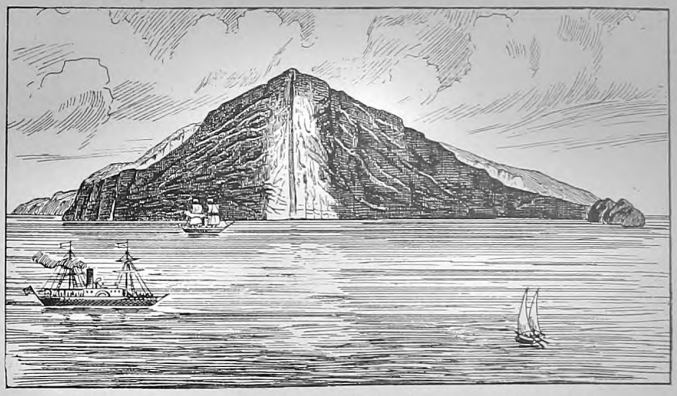


Abb. 96. Innenwand des Rakatakegels auf Krakatau. (Nach Judd.)

Massen der in unmittelbarer Nähe der Insel, in der Sundastraße selbst, niedergefallenen Auswurfstoffe überstiegen alle Begriffe. Das Meer war auf weite Strecken von Bimssteinen bedeckt, die längere Zeit eine Gefahr für die Schiffahrt bildeten. Mehrere Inseln erfuhren durch Anschwemmung solcher Massen beträchtliche Vergrößerungen; ja zwei neue Eilande tauchten zwischen Krakatau und Sumatra aus dem Meere auf. Dazu bildeten sich mancherlei Untiefen, so daß die Segelanweisungen für die Meerenge abgeändert werden mußten. Am Fuß des Rakata lagen, als Ruhe eingetreten war, die Bimssteinhaufen sechzig Meter hoch, aber selbst in vierzig Kilometer Entfernung las man noch Auswürflinge von Faustgröße auf. Die Gesamtmenge des ausgeschleuderten Materials hat man auf nicht weniger als achtzehn Kubikkilometer geschätzt!

Krakatau und seine Nachbarinselchen waren

unbewohnt, daher durch die Eruption selbst, d. h. durch Aschenregen, Feuergase usw., der menschlichen Kultur kein erheblicher Schaden zugefügt wurde. Um so verderblicher gestaltete sich eine unmittelbare Folgeerscheinung der Katastrophe. In den riesigen, durch die Sprengung des Vulkans entstandenen Hohlraum stürzte das Meer mit ungeheurer Geschwindigkeit hinein, durch den Rückstoß eine Flutwelle erzeugend, die an den Küsten der Sundastraße und weit darüber hinaus die schlimmsten Verheerungen anrichtete. Das nächste bewohnte Eiland, Sebesie, achtzehn Kilometer vom Mittelpunkt der Explosion entfernt, wurde vollständig überflutet; die gesamte Einwohnerschaft büßte das Leben ein.

In der Sundastraße selbst erreichte die Welle eine Höhe von 36 Meter, zahlreiche Ortschaften, so die Städte Anjer und Merak, wurden völlig verwüstet, viele tausend Menschen getötet. Einen bei Telug Betung ankernden Dampfer warf die Flut über den Hafendamm und trug ihn etwa drei Kilometer landeinwärts. Von der Meerenge setzten die empörten Wogen ihren Lauf längs der Nordküste von Java fort, auch hier hatten noch alle tiefgelegenen Ortschaften, namentlich die Unterstadt von Batavia, schwer unter ihrem Anprall zu leiden. Im ganzen schätzt man die Zahl der Ertrunkenen auf nahezu 40000, wohl der Höchstbetrag der jemals bei einer Vulkankatastrophe ums Leben Gekommenen (doch vergleiche, was weiter unten über die Ausbrüche des Ätna gesagt ist). Flutwellen, die im Gefolge großer Erdbeben eintraten, haben allerdings manchmal noch mehr Opfer gefordert. Bei dem Lissaboner Erdbeben des Jahres 1755 sollen an 60000 Menschen in den Wogen des von der Erschütterung zurückgestauten und dann über die Stadt sich ergießenden Tajostroms ihren Tod gefunden haben, während schon vorher 30000 von den zusammenstürzenden Häusern erschlagen worden waren.

Die Flutwelle des Krakatau machte ihre Runde um die ganze Erde. Am Kap der Guten Hoffnung traf sie zwölf, an der Südspitze Amerikas siebzehn, an der Küste Frankreichs dreiundzwanzig Stunden nach der Katastrophe ein. Man machte dabei die Beobachtung, daß die Woge über tiefen Meeren sich viel schneller ausbreitete als über seichteren Stellen.

Nicht minder interessant ist die weite Ausdehnung, in der man den Donner der Krakatauexplosion vernahm. In einiger Entfernung vom Schauplatz der Katastrophe hatte man den Eindruck, als würde unfern eine große Schlacht geschlagen. Dabei gerieten alle nicht niet- und nagelfesten Gegenstände in Schwingungen und verursachten ein lang anhaltendes, unbehagliches Klappern, Pfeifen und Knarren. In Buitenzorg auf Java, etwa 150 Kilometer vom Schauplatz der Explosion, war der stärkste Knall noch so gewaltig, daß Fenster und Türen aufsprangen, Kalk herunterfiel, und die Hängelampen aus den Ketten gerissen wurden. Im etwa ebenso weit entfernten Batavia zersprangen die Scheiben von Ladenfenstern. Die Schallwellen breiteten sich über eine annähernd eiförmige Fläche aus, die halb Australien, Teile der Philippinen, Malakka und Ceylon einschloß, im ganzen etwa ein Dreizehntel der Erdoberfläche. Das Rollen des Donners drang bis nach Manila, das 2900, Alice Springs in Zentralaustralien, das nahezu 3600, und Rodriguez bei Madagaskar, das 4775 Kilometer von Krakatau abliegt! Die äußerste Entfernung, bis zu der man gelegentlich den Donner von Geschützen gehört haben will, 270 Kilometer, erscheint zwerghaft klein gegenüber den Wirkungen der Riesenkanonade, von der die Sprengung des Krakatauvulkans begleitet war.

Neben den Schallwellen entstanden auch Schwingungen von viel größerer Wellenlänge, die sich durch starke Barometerschwankungen bemerklich machten. An Bord einiger Schiffe, die während der großen Explosion die Sundastraße passierten, beobachtete man, wie die Barometer in kurzen Zwischenräumen um fünfundzwanzig und fünfzig Millimeter stiegen und fielen. Diese Schwankungen des Luftdrucks pflanzten sich bis in die entferntesten Weltgegenden fort, ja die stärkste der Luftwellen hat dreimal die Erde umkreist.

Soviel über den Krakatau-Ausbruch, der mit erschreckender Deutlichkeit kundgibt, zu welch furchtbarem Grad zerstörender Gewalt die vulkanischen Kräfte sich gelegentlich aufraffen können. Aber noch immer stehen wir nicht am Ende der vulkanischen Schrecken! Wer etwa glaubte, mit Aschenregen, Dampf- und Lavaausbrüchen, schlimmstenfalls mit einer Sprengung des Kraters selbst seien die vulkanischen Gefahren erschöpft, ist im Jahre 1902 eines Besseren belehrt worden. St. Pierre auf Martinique fiel einer ganz anderen, einer bis dahin völlig unbekannten Äußerung der vulkanischen Kraft zum Opfer.

Wohl sandte auch die Montagne Pelée Schlammströme, Aschenregen und Lavaergüsse aus; durch einen Schlammstrom ging drei Tage vor der Vernichtung St. Pierres die Usine

Guérin, eine zu Füßen des Vulkans gelegene Zuckerfabrik, zugrunde, und in den folgenden Tagen brachten siedend heiße, vom Berg herabstürzende Wasserfluten mehreren Dörfern den Untergang. Aber was sich am Himmelfahrtsmorgen 1902 mit dem unglücklichen St. Pierre zutrug, war ein völlig unerhörtes, in der langen Geschichte vulkanischer Katastrophen noch niemals verzeichnetes Ereignis. Der Vulkan war am frühen Morgen ziemlich ruhig. Weiße Dampfwolken umschwebten seinen Gipfel, die ein heftiger Wind immer wieder rasch verscheuchte. Nichts deutete darauf hin, daß gerade heute der Berg sich zu einer so furchtbaren Explosion vorbereitete. Plötzlich, wenige Minuten vor 8 Uhr, quoll eine „wellenartige", dunkle Masse aus dem Krater, die sogleich mit ungeheurer Geschwindigkeit die Abhänge hinab auf St. Pierre zurollte, alles verbrennend, zertrümmernd und tötend, was auf ihrer Bahn lag. Gleichzeitig dehnte sich die Erscheinung in die Breite aus, ein weites Stück Land überschattend. Dann folgte dichte Finsternis, in die nur die Feuergarben des auflodernden St. Pierre ihre Lichter hineinwarfen, weiter ein prasselnder Steinhagel, den bald ein Schlammregen und schließlich ein gewaltiger Wolkenbruch ablösten. Dieser ganze Schrecken spielte sich etwa im Lauf einer Stunde ab; dann brach die Sonne wieder durch und beschien die rauchenden Trümmer einer Stadt, in der von 30000 Menschen nur noch ein einziger am Leben geblieben war, ein Verbrecher, den die dicken Steinmauern seines Gefängnisses vor dem glühenden Hauch des Vulkans beschützt hatten.

Was war das aber für eine dunkle Masse, die so heimtückisch aus dem Vulkan hervorbrach und sich mit rasender Geschwindigkeit abwärts wälzte? Wenn sie aus Gasen und Asche zusammengesetzt war, warum verhielt sie sich dann umgekehrt wie die gewöhnliche, hoch in die Atmosphäre emporsteigende Dampfsäule? Welche Umstände zwangen sie, am Boden zu haften und bergab zu rollen wie ein festes oder wenigstens zähflüssiges Gebilde?

Eine ausreichende Erklärung dieser seltsamen Erscheinung läßt sich heute noch nicht geben. Wohl bestand die Glutwolke zum Teil aus gasförmigen Stoffen, unter denen stark überhitzter Wasserdampf die erste Rolle gespielt haben mag, aber diese Gasmasse war zweifellos stark zusammengepreßt und derart beladen mit halbflüssigen Lavafetzen, mit Asche und Staub, daß sie sich praktisch wie ein dichter, nahezu fester Körper verhalten mußte. Ein solcher folgt dem Gesetz der Schwere, und so erklärt es sich, daß die Glutwolke, kaum über den Kraterrand hinausgehoben, abwärts zu rollen beginnt. Im Freien aber vollzieht sich dann ziemlich rasch die Auflösung der Aschenlawine; sie bläht sich immer mehr auf, in die Höhe und in die Breite, und nimmt allmählich die Gestalt eines durch heftige Wirbel bewegten, blumenkohlähnlichen Gebildes an (siehe Abb. 97, die eine später beobachtete Wiederholung des Phänomens darstellt).

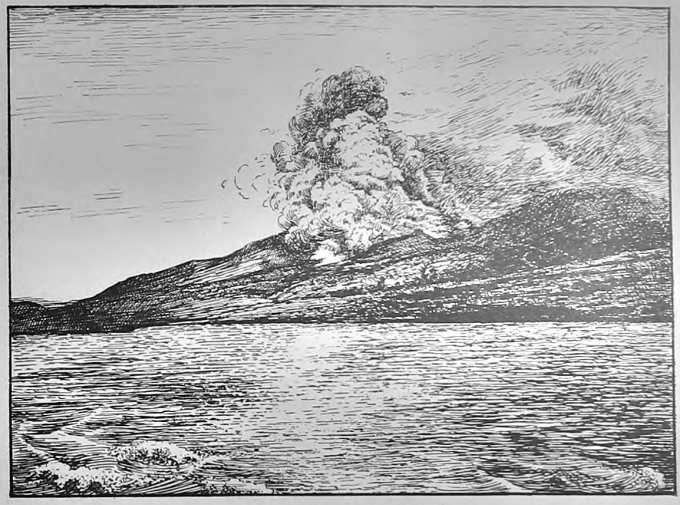


Abb. 97. Glutwolke des Mont Pelé, beobachtet am 1. Juli 1902. (Nach Sapper.)

Die beginnende Auflösung hindert die Wolke jedoch keineswegs, ihren Flug fortzusetzen, ja die Geschwindigkeit steigert sich, solange es abwärts geht, und soll, wie einige Beobachter angeben, schließlich hundert englische Meilen in der Stunde erreichen. Erst wenn die Wolke auf ebenes Gelände kommt, namentlich aber, sowie sie das Meer erreicht, nimmt ihre Schnelligkeit stark ab, und der völlige Zerfall tritt

sehr bald ein; die Hauptmasse der festen Bestandteile ist schon vorher auf dem Lande zu Boden gefallen, und nun sinkt der Rest ins Meer; die Dämpfe aber werden von den Winden verweht, steigen nach oben und vermengen sich mit den atmosphärischen Wolken.

Dies ist in kurzen Worten der Verlauf jenes seltsamen Phänomens der „absteigenden Eruptionswolken", deren man in den Jahren 1902 und 1903 eine ganze Reihe beobachten konnte, sowohl auf Martinique wie auf der unweit gelegenen Insel St. Vincent, deren Vulkan, die Soufrière, gleichzeitig mit dem Mont Pelé in heftiger Tätigkeit war. Am 7. Mai 1902, einen Tag vor der Vernichtung St. Pierres, brachte eine von der Soufrière herabjagende Glutwolke 1600 Menschen den

Abb. 98. Flasche, gefunden in St. Pierre nach dem Ausbruch vom 8. Mai 1902. (Nach Sapper.)

Tod. Auch hier loderte alles, was auf der Bahn des Ungetüms lag, in Flammen auf: Häuser, Waldungen, Plantagen. Wenn auf St. Vincent nur eine verhältnismäßig geringe Zahl Menschen der Katastrophe zum Opfer fiel, so erklärt sich dies aus dem Umstand, daß die Mehrzahl der Bevölkerung, durch den beginnenden Paroxysmus des Vulkans gewarnt, sich noch rechtzeitig in Sicherheit gebracht hatte.

Aber woran starben jene Opfer? Um solche Frage beantworten zu können, müßte man die chemische Zusammensetzung der todbringenden Glutwolken weit genauer kennen, als es der Fall ist. Man weiß nur, daß die Ausbruchswolke der Soufrière bedeutende Mengen Schwefelgase mit sich führte, und diese üben ja an sich eine erstickende Wirkung aus. Aber die Wolke, die St. Pierre zerstörte, besaß, nach allem, was berichtet wird, keinen Schwefelgeruch. Aller Wahrscheinlichkeit nach bestand sie, abgesehen von den Aschenmassen, sehr vorwiegend aus überhitztem Wasserdampf. Wenn wir nun hören, was man über ihre Temperatur ermittelt hat, scheint es nicht im geringsten verwunderlich, daß die wenigen Minuten ihres Vorüberziehens genügten, allem Leben in der unglücklichen Stadt ein jähes Ende zu bereiten.

Da St. Pierre sofort nach Passieren der Wolke in Flammen aufging, muß die Hitze der Gase zum mindestens die Entzündungstemperatur des Holzes — 450 Grad Celsius — erreicht haben. In Wirklichkeit war sie wenigstens noch 200 Grad höher, wie aus dem Zustand einiger Flaschen hervorgeht, die mit angeschmolzenen, in der Zugrichtung der Wolke (Nord-Süd) herabgebogenen Hälsen in den Ruinen von St. Pierre aufgefunden wurden (Abb. 98). Flaschenglas schmilzt bei 650 bis 700 Grad; bedeutend höher kann die Hitze nicht gewesen sein, da sonst die Flaschen zweifellos zu unförmlichen Klumpen zusammengeschmolzen wären. Auch stellte sich heraus, daß die Kupferdrähte der Telephonleitungen unverletzt geblieben waren; da nun Kupfer bei 1058 Grad Celsius schmilzt, stände diese Zahl als oberste Grenze fest. Allem Anschein nach darf man die Hitze der Glutwolke auf 7—800 Grad schätzen, woraus sich dann ihre tödliche Wirkung auch ohne die Gegenwart giftiger Gase hinreichend erklärt.

Beiläufig sei erwähnt, daß sich ähnliche Wolken auch beim letzten großen Vulkanausbruch (April 1906) gezeigt haben. Aus dem Krater stiegen von Zeit zu Zeit dichte, schwer mit Asche und Steinen beladene Dampfmassen empor, die jedoch nicht, wie am Mont Pelée, den Berg hinabrollten, sondern über dem Vulkan schweben blieben und die Abhänge mit einem furchtbaren Steinregen überschütteten. Diese Vesuvwolken müssen demnach doch wesentlich leichter gewesen sein als die glühenden Aschenlawinen der Antillenvulkane. Indessen besteht zwischen beiden Erscheinungen kein prinzipieller Unterschied; am Vesuv überwogen die leichten Dämpfe und Gase, deren Tragkraft genügte, die festen Bestandteile mit in die Höhe zu reißen, während am Mont Pelé umgekehrt die Gase von den reichlicheren Bomben und Lapilli am Aufstieg verhindert und zu einem talwärts gerichteten Laufe gezwungen wurden.

Die jüngsten Ausbrüche der Antillenvulkane können wir nicht verlassen, ohne einer anderen

Merkwürdigkeit zu gedenken, die sich im Krater des Mont Pelé seit dem Herbst 1902 zeigte. Schon wenige Wochen nach der verhängnisvollen Katastrophe bildete sich am Grunde des alten Kraters eine Art Quellkuppe, ein steilwandiger, massiver „Dom", der im Lauf einiger Monate bis zur Höhe der alten Umwallung emporwuchs. Daß er aus glühender, nur oberflächlich erstarrter Lava bestand, ist zweifellos; der Pariser Mineraloge Lacroix beobachtete des öfteren, wie die Wände der Kuppe erglühten, und feurige Schmelze die kaum verfestigte Oberfläche durchbrach. Die Entstehung dieses Gebildes müssen wir uns ganz nach Art der Domvulkane vorstellen. Die Lava war so zähflüssig, daß sie sich nicht als Strom ausbreitete und über die Abhänge des Berges hinabfloß, sondern sich zu einer breiten Kuppe mit zackigem Kamm aufstaute.

Soweit bot die Erscheinung nichts Neues noch Ungewöhnliches. Aber dann vollzog sich ein ganz rätselhafter Vorgang. Gegen Mitte Oktober 1902 wuchs an der Ostseite der Kuppe eine Stelle rasch zu einem riesigen, fingerförmigen Turm empor, dessen Höhe manchmal von einem Tag zum anderen um mehr als zehn Meter zunahm, an anderen Tagen aber auch durch Abstürze von Felsblöcken wieder erniedrigt wurde. Im ganzen überwog das Wachstum, das sich so lange fortsetzte, bis die Staukuppe und der sie krönende Obelisk den alten Kraterboden um rund 900 Meter überragten. Zehn Monate lang blieb der Turm sichtbar, unter mannigfachen Veränderungen seiner Höhe und seiner Gestalt, von denen uns die zahlreichen photographischen Aufnahmen der Beobachter Kunde geben. Als der Tübinger Geograph Sapper im Jahre 1903 den Mont Pelé bestieg, ragte der Turm etwa 250 Meter über die Staukuppe frei in die Lüfte und war oben in zwei Zähne gespalten. Endlich im August 1903 stürzte der gewaltige Bau in sich zusammen, seine Trümmer über die Abhänge des Vulkankegels verstreuend.

Das Auftauchen des ungeheuren Felszahns, sein rätselhaft schnelles Wachstum und seine für vulkanische Neubildungen ganz ungewöhnliche Form haben in der naturwissenschaftlichen Welt das lebhafteste Interesse erregt. Man wollte zuerst nicht glauben, daß ein zwei- bis dreihundert Meter hoher Obelisk mit senkrechten, vielfach wie glatt gemeißelt aussehenden Wänden aus halbflüssiger Lava bestehen könnte. Und doch war dies, nach zahlreichen Beobachtungen zu schließen, der Fall. Der Felsturm war in der Regel von langen, senkrechten Rissen durchsetzt, und diese konnte man zeitweilig feurig aufleuchten sehen. Weit öfter lösten sich vom unteren Teil glühende Blöcke ab und rollten den Berg hinunter. Ja, Lacroix hat, wahrscheinlich infolge des Absturzes größerer Teile der erstarrten Oberfläche, den Felszahn selbst häufig erglühen sehen.

Nach alledem ist kein Zweifel, daß der Felsobelisk aus dem gleichen Stoff bestand wie die Staukuppe, die seinen Untergrund bildete: aus ungemein zähflüssiger, bereits stark abgekühlter Lava. Ihre Oberfläche dürfte von dichtem, vulkanischem Glas überzogen gewesen sein. Die merkwürdige, fingerförmige Gestalt erklärt sich wohl am einfachsten aus der Annahme, daß das ganze Gebilde die Abformung oder den

Abb. 99. Felsnadel des Mont Pelé.

Ausguß eines Kraterrohrs vorstellt. In diesem Zuleitungskanal war die Lava während einer Ruhepause des Vulkans schon halb erstarrt, als die wieder stärker einsetzenden vulkanischen Kräfte sie aus ihren Verbindungen lockerten und nach oben schoben. Dabei bewahrte die noch plastische Masse im großen und ganzen die Form des Kanals, den sie ausgefüllt hatte, und bildete, hoch über die Staukuppe emporgehoben, ein in der Geschichte der vulkanischen Ausbrüche ganz einzig dastehendes Naturwunder.

Einzig in seiner Art, soweit menschliche Beobachtung und Erinnerung zurückreichen. Aber sollte nicht auch für den Lavaobelisken des Mont Pelé die Regel gelten: Nichts neues unter der Sonne? Im jüngstvergangenen geologischen Zeitalter, der Tertiärepoche, war die vulkanische Tätigkeit ungleich machtvoller als heutzutage.

Wenn damals Bildungen nach Art jenes Lavaturms entstanden wären, müßten sie, wenigstens zum Teil, noch erhalten sein. In der Tat zeichnen sich manche Domvulkane durch auffallend spitz zulaufende Kegelform aus; so der Hartenfelser Kopf im Westerwalde. Noch zahlreicher aber sind die Fälle, in denen auf breiter, gewölbter Lavakuppe ein schroffer Felszahn sich erhebt, also ein Bild ganz ähnlicher Art, wie es der Mont Pelé im Winter 1902—1903 dem Beobachter darbot. Allerdings würden sich die Felszacken unserer Domvulkane mit ihren zwanzig bis dreißig Meter Höhe neben dem Riesenturm des Antillenvulkans recht kläglich ausnehmen, doch hat man zu bedenken, daß sie ja im Lauf der vielen Hunderttausende von Jahren, die seit ihrer Bildung verstrichen sind, durch Abstürze ganz erheblich an Höhe verlieren mußten und wahrscheinlich nur noch unbedeutende Reste einstmals sehr machtvoller Zinnen vorstellen.

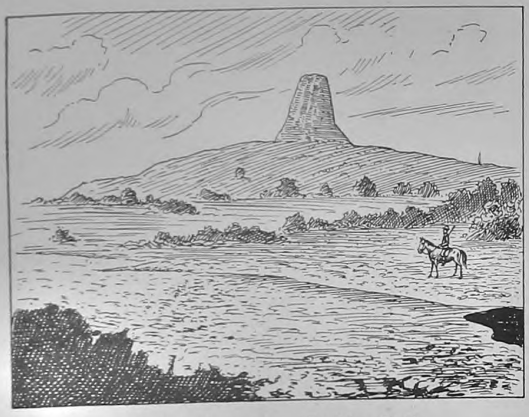


Abb. 100. Ein nordamerikanischer „Neck".

Sehr ähnliche Formen bieten auch die in Nordamerika und Schottland so häufigen „Necks" (Abb. 100), kleine, fast senkrecht aufsteigende Kegel aus festem vulkanischem Gestein. Man hielt bislang alle diese Türme für Erzeugnisse der Verwitterung. Regengüsse sollten im Lauf langer Zeiträume die umgebenden lockeren Sand- und Tuffschichten entfernt und den „Kern" des Vulkans, die im Kraterrohr erstarrte Lavasäule, bloßgelegt haben. In zahlreichen Fällen mag diese Erklärung zutreffen, namentlich wenn Überreste der lockeren Umhüllung vorhanden sind. Wo das nicht zutrifft, wie z. B. bei manchen Basaltvulkanen Deutschlands, wird man nach den Erfahrungen am Mont Pelé den Gedanken nicht von der Hand weisen können, daß vielleicht auch manche Necks und Felstürme, emporgepreßt vom nachdrängenden Glutbrei, als zähflüssige Lavasäulen dem Boden entstiegen und in freier Luft zu den bizarren Formen erstarrten, die sie uns heute darbieten.

Eine andere große Vulkanexplosion, die am 15. Juli 1888 im Innern des japanischen Feuerbergs Bandai-San vor sich ging, hatte kein solches Unheil im Gefolge wie die soeben geschilderten Ausbrüche, ist aber sehr merkwürdig wegen ihrer „tektonischen" Wirkungen. Sie erinnert in manchen Dingen an die Krakatau-Katastrophe. Ein ganzer Vulkankegel, der Kobandai, verschwand im Augenblick, doch wurde nur ein kleiner Teil zu Staub zerblasen und in die Luft hinaufgeschleudert, die Hauptmasse zerbrach in große Stücke, die als Bergstürze an den Flanken des Bandai-San niedergingen. Der Anblick dieser Felslawinen glich, wie Augenzeugen berichten, ganz dem eines wogenden, in die Tiefe schießenden Stromes! Wo ihnen Hindernisse im Wege lagen, schlugen sie brandend an ihnen in die Höhe und stauten sich zu wirren Massen von Erde und Felsen auf, die stellenweise eine Mächtigkeit von sechzig Meter erreichten. Im ganzen wurde eine Bergmasse von etwa 1¼ Kubikkilometer Inhalt abwärts geschoben; zur Ruhe gelangt, bedeckt sie heute einen Flächenraum, der größer ist als der Stadtkreis Berlin, mit einer durchschnittlich siebzehn Meter hohen Trümmerschicht.

Merkwürdig ist, daß die Ursache dieses gewaltsamen Vorgangs kein vulkanischer Ausbruch im eigentlichen Sinne war, denn zu Lavaergüssen ist es nicht gekommen, und die Stein- und Aschenregen, von denen berichtet wird, scheinen nur dem zerblasenen Teil des Berges, nicht dem flüssigen Glutherd zu entstammen. Der Schmelzfluß ist offenbar ganz in der Tiefe geblieben, und über ihm müssen sich ungeheure Gasmassen angesammelt haben, deren Druck mehr und mehr wuchs, bis endlich die Spannung stärker wurde als die Festigkeit des Berges, und die Explosion erfolgte. Man kann auch zweifeln, ob es wirklich vulkanische Gase waren, die explodierten, oder nur in Dampf verwandeltes Grundwasser. Im letzteren Falle würde eine jener „Berührungsexplosionen" vorliegen, deren Zustandekommen man weiter unten erklärt findet.

Aus der Sprengung des Kobandai lernen

wir, daß die vulkanischen Kräfte auch ganze Schichtenmassen in Bewegung setzen und auf anderen Grund und Boden hinüberschieben können. Zieht man die starke Reibung auf der aus rauhen vulkanischen Gesteinen bestehenden Unterlage in Betracht, so erscheint die zurückgelegte Strecke, neun Kilometer, recht bedeutend. Auf glattem Tonboden wären die Massen jedenfalls noch viel weiter gerutscht. Früher glaubte man, nur tektonische Kräfte könnten solche Überschiebungen hervorrufen, aber der Bandai-San belehrt uns eines Besseren, und wie wir bald sehen werden, gibt es auch in Deutschland Gegenden, wo ähnliche Vorgänge stattgefunden haben.

Selten äußert sich die Explosivkraft der Vulkane in so gewaltiger, verheerender Weise, wie es im Jahre 1883 in der Sundastraße und 1888 am Bandai-San geschah. Aber mehr oder minder sind alle heute tätigen Feuerberge explosiv, mit einer einzigen, freilich sehr beachtenswerten Ausnahme. Die Insel Hawai besitzt zwei vulkanische Riesenkuppen, den Mauna-Kea und Mauna-Loa, die beide fast bis zur Montblanchöhe emporstreben, aber mit so allmählicher, sanfter Steigung, daß z. B. der Durchmesser des Loa 600 Meter unter dem Gipfel noch sechs deutsche Meilen beträgt. Derartig flach gewölbte Kuppeln bezeichnet man wohl auch als „Schildvulkane". Sie setzen für ihre Entstehung — im Gegensatz zu den steilen Quellkuppen, Kegeln und Türmen — eine ungemein leichtflüssige Lava voraus, die imstande war, auf fast ebenem Terrain sich weithin auszubreiten, zweitens aber auch das Fehlen aller losen Auswurfstoffe, die sich ja gewöhnlich zu steilen Kegeln anhäufen oder, an einem Punkte fortgeschwemmt, an anderen aufgeschüttet, der Landschaft ein buntes Relief verleihen. Davon findet man nichts auf Hawai; die Lavaergüsse der beiden Riesenvulkane finden in majestätischer Ruhe statt, ohne gewaltsame Gasausbrüche, ohne Stein- und Aschenregen. Darum sind der Kea und Loa eigentlich gar keine Schichtvulkane, gleichen vielmehr im Wesen unsern Domvulkanen, von denen sie nur ein sehr wichtiger Unterschied trennt: der Besitz mehrerer ständig tätiger Krater. Dergleichen ist, wie wir früher sahen, bei den aus einem Guß entstandenen Domvulkanen ausgeschlossen; ihre Ausbruchsöffnung wird von der quellenden Lava überdeckt und unkenntlich gemacht. Immerhin ist es interessant zu sehen, daß die hawaischen Feuerberge eine Art Übergangsform zwischen den beiden Hauptgruppen der Vulkane vorstellen.

Einer der beiden Krater des Mauna Loa ist berühmt als Weltwunder: der großartige Feuersee Kilauea (Abb. 101). Eingebettet am oberen Abhang des Loa liegt ein gewaltiger Kessel von unbekannter Tiefe, in der Regel fast bis an den Rand von glutflüssiger Lava gefüllt. Aus den wallenden Lavamassen entweichen unaufhörlich Gase und Dämpfe, was den Anlaß zu stetigen kleinen Explosionen gibt, bei denen Feuerfontänen bis zu zwanzig Meter in die Höhe spritzen. Alle Besucher schildern den Anblick als überwältigend großartig. Ist der Kessel vollständig gefüllt, so nimmt seine Fläche einen Raum von etwa zwölf Quadratkilometern ein.. Bisweilen aber, zuletzt im Jahre 1895, durchbricht der Glutbrei die Kraterränder und ergießt sich als Lavastrom über die Bergab-

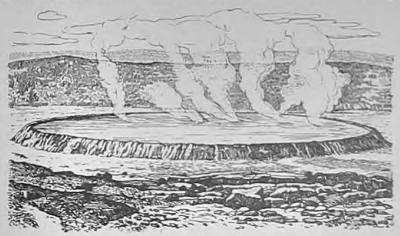


Abb. 101. Der Feuersee Kilauea.

hänge, wonach der Spiegel des Feuersees schnell in die Tiefe sinkt. Zu solchen Zeiten hat man beobachtet, daß die Innenwände des Riesenkraters aus horizontalen Lavaterrassen aufgebaut sind.

Wenn beim Ausbruch eines Schichtvulkans die explosiven Erscheinungen ihren Höhepunkt überschritten haben, beginnt das Ausfließen der Lava. „Den Gesetzen der Schwere folgend, fließt die Lava die Bergabhänge hinab, breitet sich auf flachen Ebenen seeartig aus, füllt alle Vertiefungen, die sie auf ihrer Bahn antrifft, aus, staut sich an ihr den Weg versperrenden Hindernissen auf, stürzt sich ähnlich wie ein Wasserfall über diese hinweg (so über die Mauer von Catania im Jahre 1669), teilt sich in mehrere Arme, welche die Hindernisse umfließen und sich dann wieder vereinigen können." (Credner.) Die ursprüngliche Geschwindigkeit der Lavaströme ist sehr verschieden, man hat Ströme beobachtet, die mit Eilzugsgeschwindigkeit über die steilen Abhänge des Kegels zu Tal sausten, und andere, die mit schneckenartiger Langsamkeit am Boden fortkrochen. Es ist nicht das Gefälle allein, was diese Unterschiede be-

dingt, auch die Beschaffenheit der Lava, ob dick-, ob dünnflüssig, spielt dabei eine wichtige Rolle, ferner der Druck der aus dem Krater nachdrängenden Schmelzmassen.

Im allgemeinen nimmt die Geschwindigkeit der Ströme mit wachsender Entfernung vom Krater mehr und mehr ab. Es liegt dies daran, daß die Lava anfänglich bedeutende Mengen von Gasen und Dämpfen enthält und daher leicht beweglich ist. Aus dem fließenden Glutstrom entweichen die Gase nach und nach, die Schmelzmasse kühlt sich an der freien Luft rasch ab, bedeckt sich mit einer Kruste und fließt immer

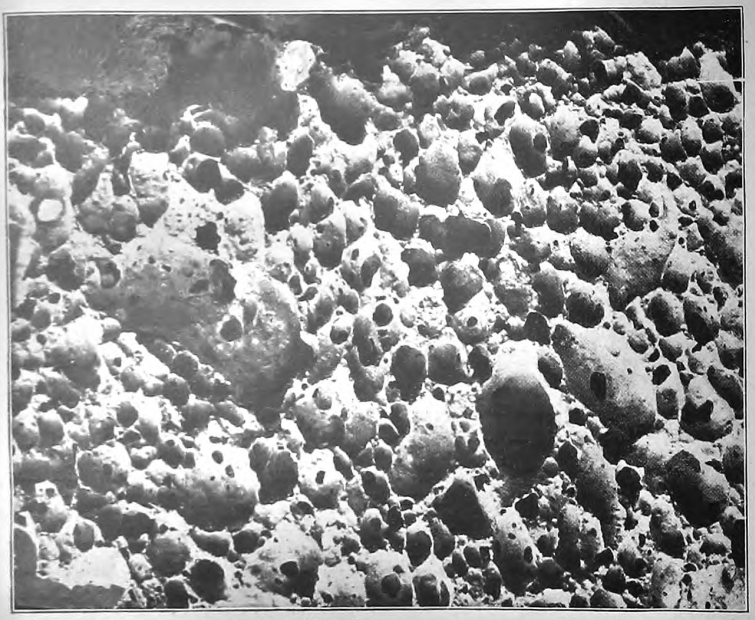


Abb. 102. Schwammig aufgetriebene basaltische Lava vom Krater des Hochsimmer bei Mayen (Eifel).

langsamer. Weil aber noch immer Gase ausgestoßen werden, auch wenn die Kruste schon eine ziemliche Dicke erreicht hat, so ist die Oberfläche der Lavaströme oft außerordentlich zackig und zerrissen, oder die ganze Masse zerfällt in einen Haufen eckiger Blöcke, die wirr durcheinander liegen wie die Felstrümmer einer Schutthalde (sogenannte Blocklava, am Vesuv vorherrschend). Manche Lava ist von den sich befreienden Gasen und Dämpfen wie ein Schwamm aufgetrieben und ganz erfüllt von zahllosen Poren und Blasen, die zumeist in der Richtung des Fließens langgezogen sind (Abb. 102).

Ist der Gasgehalt der Lava von vornherein gering, so bedeckt sich die Oberfläche mit einer fest zusammenhängenden Rinde, die ein eigentümlich wulstiges, an Hochofenschlacken erinnerndes Gefüge besitzt (Fadenlava). Hier strömen die Dämpfe nur an einzelnen Stellen aus, reißen oft Lavateilchen mit in die Höhe und bauen aus der zähen Masse die sogenannten Schlackenschornsteine auf (Abb. 103). Diese eigentümlichen Kamine, die man auch mit versteinerten Fontänen vergleichen kann, sind nichts anderes als Miniaturvulkane; wie der große Vulkankegel aus dem unterirdischen Lavaherde hervorwächst und von ihm gespeist wird, so beziehen sie ihre Nahrung aus dem flüssigen Innern des Lavastroms, dem sie aufsitzen. Werden die Schlackenschornsteine größer, 10 bis 20 Meter hoch, so nehmen sie den Charakter parasitischer Kegel an; man nennt sie dann Boccas. Ihre Tätigkeit dauert oft jahre-, ja bei den größeren selbst jahrzehntelang fort.

Eine andere merkwürdige Tatsache ist, daß der Lavastrom beim Fortschreiten seinen eigenen Weg pflastert. Die einzelnen Teile eines Lavastroms haben, ähnlich wie bei Flüssen und Gletschern, ungleiche Geschwindigkeit: die oberen und mittleren Teile bewegen sich rascher als die unteren. Infolgedessen gleicht die Bewegung des Stroms einem Wälzen. Die Lavadecke des vorderen Stromendes legt sich unmittelbar an der Stirn des Glutflusses auf den Boden und bedeckt den einzuschlagenden Weg mit ihrer Schlackenschicht. Der Strom wälzt sich über seine eigene Rinde fort.

Die kaum glaublich erscheinende Tatsache, daß Lavaströme sich über Schneefelder ergießen können, ohne die gefrorene Unterlage vollkommen wegzuschmelzen (auf Island und in den

Anden mehrfach beobachtet), erklärt sich eben aus der Pflasterung des Stromweges. Die Schlackenhülle ist ein sehr schlechter Wärmeleiter; daher bleibt die glühende Lava im Innern oft noch jahrzehntelang flüssig, wenn sich auf der erstarrten Oberfläche schon längst Flechten und andere niedere Pflanzen angesiedelt haben. Solche Lavaströme kann man ruhig betreten, auch wenn es aus allen Spalten noch dampft und brodelt.

Wenn der Lavaerguß aus dem Krater sein Ende erreicht hat, so fließt der Strom gewöhnlich noch eine Zeitlang weiter. Weil aber kein Nachschub mehr erfolgt, so entleeren sich die oberen Teile des Stroms; es bleibt hier nur ein hohles Gewölbe stehen, ein Schlackenkanal, aus dem der Schmelzfluß herausgelaufen ist. Solche „Lavakeller" brechen leicht zusammen, und ihre Trümmer werden von den abtragenden Kräften fortgeführt, während das untere, durch und durch massive Stromende den Angriffen der Verwitterung lange Zeit Widerstand leistet. Von älteren Lavaergüssen sind also gewöhnlich nur die unteren, am weitesten vom Vulkanschlot entfernten Teile erhalten.

Die Zerstörungskraft der von den Flanken des Vulkans herabströmenden Glutmassen hängt naturgemäß von ihrer Masse und Geschwindigkeit ab. Langsam fließende Ströme richten selten großen Schaden an, selbst kleine Hindernisse, wie niedrige Mauern, Felsblöcke, Buschwerk, Baumgruppen, halten sie stunden-, ja tagelang auf. Größere Hindernisse umgeht die Lava, daher bisweilen Häuser inmitten der Ströme anscheinend unversehrt stehen bleiben. Von Bäumen gehen manchmal nur die oberen Teile in Flammen auf, die unteren verkohlen und hinterlassen in dem erstarrenden Schmelzfluß hohle Abdrücke (vgl. S. 92).

Gegen die mächtigen und mit starker Wucht vorwärts drängenden Ströme gibt es dagegen keinen Widerstand, sie besiegen mühelos alle Hindernisse und lassen sich auch durch keine Schutzbauten (Wälle, Gräben) aufhalten oder von der einmal eingeschlagenen Richtung ablenken. Auf freiem Gelände breiten sie sich nach allen Seiten aus und vernichten die Kultur ganzer Landstriche. Lavaströme des Ätna haben schon im Altertum mehrere Städte zerstört. Im Jahre 1669 brach ein ungeheurer Strom aus, der 14 Ortschaften verbrannte und, nachdem er eine Strecke von $1^1/_2$ Meilen zurückgelegt hatte, bei Catania als ein 5—600 Meter breiter Wall das Meer erreichte. Der Glutfluß überkletterte die Mauern und legte ein Viertel dieser Stadt in Asche. Die bei manchen Ergüssen zutage geförderten Lavamassen sind ganz enorm. Der Skaptar Jökull auf Island entsandte 1783 zwei Ströme, von denen der eine 100 Kilometer lang und stellenweise 30 Kilometer breit, der andere 80 Kilometer lang und bis zu 14 Kilometer breit war. Die Dicke betrug durchschnittlich 30 Meter, wuchs aber an vielen Stellen auf 150—200 Meter an. Die beim 1669er Ausbruch des Ätna geförderte Lava umfaßt nahezu 1000 Millionen Kubikmeter.

Abb. 103. Schlackenschornstein auf Fladenlava am Vesuv. (Nach F. Etzold.)

An dieser Stelle wollen wir auch die unterseeischen Vulkanausbrüche kurz besprechen. Sie gleichen im Wesen durchaus den festländischen, und zwar können sowohl Schicht- wie Domvulkane auf dem Grunde des Meeres entstehen. Eine große Anzahl ozeanischer Inseln sind nichts anderes als von Schlackenmassen aufgeschüttete und durch Lavaströme verfestigte Schichtvulkane. So erhebt sich der Stromboli aus einer Meerestiefe von 2300 Metern noch 926, Hawai mit dem Kea sogar aus etwa 6000 Meter Tiefe noch 4208 Meter über den Seespiegel, dieser wahrscheinlich durch und

durch aus fester Lava aufgebaute Feuerberg besitzt also im ganzen die enorme Höhe von 10200 Meter!

In anderen Fällen ragen die Vulkane nur mit ihrem Kraterrand über die Meeresoberfläche empor. Dann durchbricht im Lauf der Zeit die Brandung allmählich den Krater an einer oder mehreren Stellen und bildet eine tiefe Bucht innerhalb des Ringwalls. So entstehen ringförmige Vulkaninseln, wie z. B. die Santoringruppe im griechischen Archipel (vgl. Abb. 105). Hier ist von dem alten Kraterwall ein großes Stück, die Insel Thera, und

Abb. 104. Lavaströme des Ätna beim Ausbruch des Jahres 1886.
Die dunklen, sich mehrfach verzweigenden Bänder sind frische Lavaströme.

zwei kleine, Therasia und Aspronisi, stehengeblieben. Später hat aber die vulkanische Tätigkeit auf dem Boden des unterseeischen Kraters wieder begonnen und in der Mitte des Ringes die Kaymeni-Inseln neu aufgeschüttet. Der Hergang war also ein ähnlicher wie beim Vesuv; Thera und Therasia sind gleichsam eine ins Meer versenkte Somma, während die Kaymeni-Inseln dem eigentlichen Vesuvkegel entsprechen. Da die Geschichte Santorins ein sehr charakteristisches Beispiel für das Werden und Vergehen vulkanischer Inselgruppen liefert, wollen wir sie in kurzen Zügen verfolgen.

Vor dem Zerfall des alten Kraters, in vorgeschichtlicher Zeit, war Santorin die Heimatstätte einer in der Kultur schon ziemlich weit vorgeschrittenen Ansiedlerschar. Ihre Technik gehört noch der Steinzeit an, zeigt aber gegenüber der trojanischen erhebliche Fortschritte, namentlich in der Verzierung der Tongefäße. Von Metall wurde nur eine kleine, kupferne Säge nebst zwei Goldringen gefunden. Ungefähr um das Jahr 2000 ereignete sich jene Katastrophe, der die Ansiedlung zum Opfer fiel. Dicke Lagen von Puzollanerde, einem vulkanischen Tuff, bedeckten dann Jahrtausende hindurch die Überbleibsel der Steinzeitkultur. Aber schon im Altertum erwachte die vulkanische Tätigkeit aufs neue. Mitten in der Kraterbucht entstand das Inselchen Palää Kaymeni (d. h. die Alte Brennende), zu der dann 1650 Mikra Kaymeni (die kleine Brennende), endlich 1707 Nea Kaymeni (die Neue Brennende) hinzukamen. Letztere brauchte mehr als fünf Jahre, um ihre heutige Gestalt zu gewinnen. Als Ruhe eingetreten war, wurde sie besiedelt und wegen ihrer heißen Eisen- und Schwefelquellen als Badeort benutzt.

Nach fast 158jähriger Pause begannen neue Zuckungen, zuerst in einer Bucht von Nea Kaymeni, wo seit langer Zeit eine warme,

schweflige Säure führende Quelle aus dem Meeresgrund hervorquoll. Es war am 30. Januar 1866, als die Bewohner der Insel wahrnahmen, daß das Seewasser an mehreren Stellen der Bucht bedeutend wärmer war als früher, und leichte Dampfwolken emporstiegen, die von Stunde zu Stunde dichter wurden und einen starken Schwefelgeruch verbreiteten. Während des nächstfolgenden Tages hörte man den nun stärkeren Dampf mit Gezische entweichen, das oft von einem leichten unterirdischen Donner begleitet war; zugleich spaltete sich der Boden in der nächsten Nähe der Bucht, und ein schwaches, aber andauerndes Beben der Erde wurde verspürt, infolgedessen die meisten Häuser Risse und Beschädigungen erlitten. Diese Phänomene folgten sich mit solcher Schnelligkeit, daß viele der bestürzten Einwohner ihr Heil in eiliger Flucht nach der 3000 Meter entfernten Hauptstadt Thera auf der Hauptinsel der Gruppe suchten. Am 1. Februar nahm die Heftigkeit aller jener Erscheinungen sehr zu, und gegen Mittag sah man zuerst in der Mitte der Bucht, von weißem Dampf umgeben, einen schwarzen, zackigen Felsen den Fluten entsteigen. Dieser Felsen wuchs schnell zu einem runden Inselchen heran, aus dessen Mitte eine dichte Dampfsäule emporstieg. Nachts sah man zuweilen einen roten Schein im Dampfe über der Insel, die sich so schnell vergrößerte, daß sie am 6. Februar eine Höhe von 26 Meter und einen Durchmesser von 40 Meter besaß.

Am 11. Februar langten drei aus Athen abgesendete Naturforscher auf dem Schauplatze an. Schon aus 40 Seemeilen Entfernung erblickten sie die weiße Dampfsäule. In dem Inselring von Santorin angelangt, beobachteten sie eine allmähliche Zunahme der Temperatur des Meerwassers, die in der Nähe der neuen, jetzt schon mit Nea Kaymeni verbundenen Insel bis auf 46 Grad stieg, in zwei kleinen Seen auf der alten Insel — aber unmittelbar neben dem neuen, Vulkanos genannten Berge — sogar bis auf 84 Grad. Die Felsblöcke, die diesen Berg bildeten, bestanden aus trachytischer Lava und schienen fast in steter Bewegung zu sein, da immer neue von der Höhe herabrollten und den Fuß ausdehnten, während aus den Zwischenräumen Dampfmassen hervorströmten, zuweilen unter heftigen Detonationen. Die Dämpfe und Gase bestanden nach der späteren Untersuchung der aufgefangenen Proben aus Wasserdampf, Kohlensäure, Schwefelsäure, schwefliger Säure, Salzsäure und Schwefelwasserstoff.

Am 13. Februar tauchte nach vorhergegangenen starken Detonationen südwestlich von Vulkanos ein neuer Felsenkamm auf, der sich

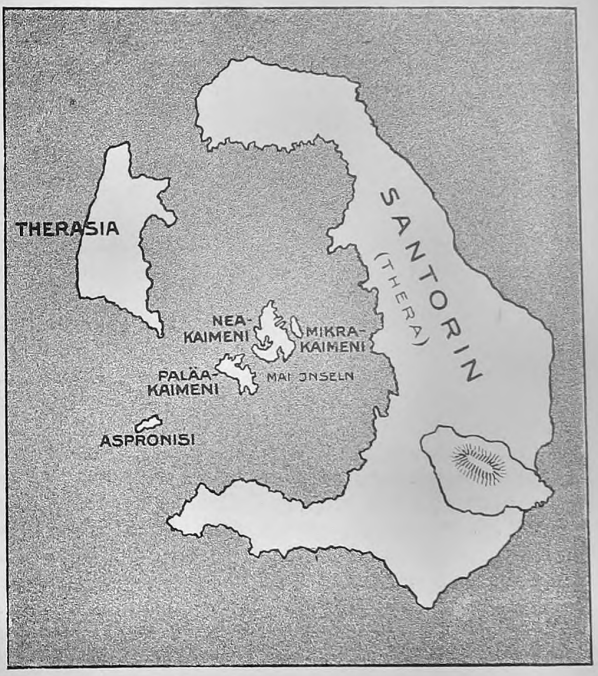


Abb. 105. Die Santoringruppe im griechischen Archipel im Jahr 1866. (Nach v. Seebach.)

bald zu einer kleinen Insel entwickelte, die Aphroessa genannt wurde. Auf dem Meere tanzten hellgelbe Flammen gleich Irrlichtern, die offenbar von entzündeten Gasen herrührten.

Der heftigste Ausbruch erfolgte am 20. Februar, bei dem die gerade am Lande befindlichen Naturforscher in nicht geringe Gefahr gerieten, von herabstürzenden Lavablöcken erschlagen zu werden. Man schätzte die Höhe der gewaltigen Rauchsäule auf 1000 Meter; etwa halb so hoch wurden glühende Lavastücke geschleudert, die beim Herabfallen einen grauen Aschenschweif zeigten und auf das Land oder

in das Meer bis zu Entfernungen von 600 Meter von Vulkanos niederfielen.

Spätere Untersuchungen haben gezeigt, daß bei dieser Eruption keine schon vorhandenen Felsschichten erhoben, sondern nur flüssige Massen aufgetrieben worden sind, die aber schon unter dem Meeresspiegel zur Erstarrung gelangten und in einzelne Felsblöcke zersprangen, aus denen die beiden neuen Hügel bestehen, von denen Aphroessa eine selbständige Insel geblieben, Vulkanos aber eine Halbinsel von Nea Kaymeni geworden ist (Cotta).

Auch in anderen Weltgegenden sind häufig vulkanische Inseln aus dem Meere emporgestiegen, aber meistens besitzen sie infolge der leichten Zerstörbarkeit des losen Baumaterials eine so vergängliche Natur, daß sie der Brandung nur kurze Zeit widerstehen und dann spurlos verschwinden. Ein Beispiel, die öfters aufgetauchte und wieder versunkene Insel Ferdinandea südlich von Sizilien, findet der Leser weiter unten erwähnt. Alle diese unterseeischen Ausbrüche pflegen von Seebeben, Aufwallungen des Meeres, Dampfsprudeln und starker Erhitzung des Wassers, die den Tod zahlloser Meerestiere zur Folge hat, begleitet zu sein. Häufig werden auch gewaltige Massen von Bimsstein ausgeworfen, die monatelang auf den Fluten schwimmen und die Schiffahrt gefährden. Bei einem im Jahre 1783 südlich von Island erfolgten Ausbruch soll das Meer 25 Meilen weit von Bimssteinfeldern bedeckt gewesen sein.

Maare und Explosionsröhren.

Alle bislang geschilderten Vulkane kann man als vollkommene von gewissen anderen Bildungen unterscheiden, die nur Vorstufen, unvollkommene Entwicklungsstadien von Vulkanen, vorstellen. Die Kräfte der Tiefe reichten in diesen Fällen nicht aus, das Endziel, den Ausbruch flüssiger Lava, zu erreichen, beschränkten sich vielmehr auf eine Reihe mehr oder minder wirksamer Explosionen. Wo die Gase noch mit einigermaßen bedeutender Kraftentwicklung sich befreiten, gelang es ihnen, einen Kanal durch die überlagernden Gesteinschichten „auszublasen"; Asche, Sand und Lavaschlacken wurden ausgeworfen und füllten, als die Explosionen nachließen, den Kanal wieder bis zum Rande zu. In seltenen Fällen gelangte auch etwas flüssige Lava in den Kanal (aber nicht an die Erdoberfläche) und erstarrte dort zu einem „Gange" festen vulkanischen Gesteins. Bei schwächeren Explosionen wurden nicht einmal Sand und Asche gefördert, nur Gase entwichen aus der gesprengten Öffnung und füllten die Ausbruchsröhre mit Bruchstücken des „durchschossenen" Nebengesteins. Im primitivsten Stadium endlich kommt es gar nicht zur Bildung eines Kanals, die Explosion verläuft ohne „Schußwirkung" und bewirkt nur mehr eine Zertrümmerung der Gesteinmassen, in denen sie stattfindet.

Ein paar Beispiele mögen diese verschiedenen Entwicklungsstufen näher erläutern.

Da sind zuerst die Maare. Wer die Eifel durchwandert hat, kennt ihre malerischen kleinen Seen, die, bald von Wald umkränzt, bald auf einsamen, heidebewachsenen Hochflächen gelegen, der Landschaft einen ganz eigenartigen Reiz verleihen. Sie haben die Form riesiger, in die devonischen Kalk- und Tonschiefer eingesenkter Kessel oder Trichter und erinnern oft auffällig an die im mitteldeutschen Triasgebiet so häufigen Erdfälle. Aber Wälle vulkanischen, mit Schlacken und Bomben untermischten Sandes, die an den Ufern der Maare aufgeschichtet sind, klären uns hinreichend auf, welchen Kräften sie ihre Entstehung verdanken. Die Maare sind „Explosionstrichter", primitive Krater, die niemals dem Erguß von Lava, nur der Förderung loser Auswurfstoffe gedient haben. Durchaus nebensächlich — vom Standpunkt des Geologen — ist ihre Erfüllung mit Wasser. Man kennt zahlreiche Maare, die trockenliegen oder von Schuttmassen bis zum Rande ausgefüllt sind.

Was man an den Eifelmaaren sieht, ist nur die obere, trichterförmige Erweiterung des Explosionskanals. Der Stiel des Trichters, die ausgeblasene Röhre, liegt in der Tiefe versteckt. Um ihn zu studieren, müssen wir uns einem anderen Vulkangebiet zuwenden, dem von Urach in Württemberg, wo nicht weniger als 127 Maare in das Plateau der Schwäbischen Alb eingesenkt sind. Geradezu siebartig ist hier die Erdoberfläche von Ausbruchsröhren durchlöchert, und die geologischen Verhältnisse sind so eigenartig, daß wir eine große Anzahl dieser Kanäle bis in Tiefen von 500—800 Meter verfolgen können. Wie das möglich ist, sei im folgenden kurz erklärt.

Die Schwäbische Alb ist ein welliges Hochland, das nur auf einer Seite, gegen das Neckartal, steil abfällt, auf der anderen Seite aber terrassenförmig in die Donauhochebene übergeht. Das gibt dem Gebirge im großen und ganzen die Form eines riesigen, massiven Sprungbretts, wie das Profil, Abb. 107, deutlich erkennen läßt. Diese Gestalt hat zur Folge, daß am Steilabsturz der Alb die abtragenden Kräfte weit stärker wirksam sind als auf dem Plateau selbst und seiner allmählichen Abdachung gegen Osten hin. Von den steilen Böschungen, die das Neckartiefland stellenweise gleich hohen Mauern abschließen, führen Regengüsse, Schneewasser, Bäche Jahr für Jahr bedeutende Mengen Gesteinschutt in die Ebene hinab; in gleichem Sinne wirkt der Frost, der durch Ausdehnung des in die feinen Gesteinrisse eingedrungenen gefrierenden Wassers die härtesten Felsen allmählich zersprengt und zerbröckelt. So geschieht es, daß der Steilrand der Alb von Jahr zu Jahr mehr gegen Südost zurückweicht, und, kleine Ursachen — große Wirkungen, das Gebirge seit der mittleren Tertiärzeit um nicht weniger als 23 Kilometer schmäler geworden ist. In dem so bloßgelegten Kern sind nun auch die alten Explosionskanäle sichtbar geworden. Herausgearbeitet hat sie die gesteinzerstörende Kraft, manchmal in einer Weise, daß der Stiel mit seiner Füllung mehrere hundert Meter weit frei vor unseren Augen liegt. Die Füllung selbst zeigt alle Übergänge vom lockeren, mit Gesteinbruchstücken vermengten Tuff bis zur festen, säulenförmig erstarrten Basaltlava.

Die oberen Weitungen der Kanäle, die „Explosionskrater", konnten natürlich nur auf dem Albplateau selbst erhalten bleiben. Es sind keine so ausgesprochenen Trichter wie in der Eifel, sondern flachere, mehr kesselförmige Bildungen, auch fehlt ihnen die Umwallung von vulkanischen Auswurfstoffen, die bei den Eifelmaaren fast überall zu sehen ist. Ihren vulkanischen Charakter beweist ausschließlich die Füllung mit Explosionstrümmern. So ist der Boden des größten Vulkankessels der Alb, des Randecker Maars unweit Kirchheim u. Teck, von Basalttuffen und Bruchstücken des durchschossenen Kalksteins bedeckt.

Abb. 106. Gemündener Maar bei Daun in der Eifel.

Ein Schauplatz ungemein gewaltsamer vulkanischer Vorgänge ist um die Mitte der Tertiärzeit das Ries bei Nördlingen gewesen, ein etwa 20 Kilometer breiter, fruchtbarer Kessel, der in überraschender Weise mitten in das Hochplateau der Alb eingesenkt ist (Abb. 108). Der Boden des Ries ist ein gänzlich zertrümmertes, in viele Schollen zerstückeltes Feld; Granit, Gneis, Keuper, weißen und braunen Jura findet man in bunter Abwechslung durcheinander geschoben und ineinander eingekeilt; dazwischen sind an zahlreichen Punkten saure

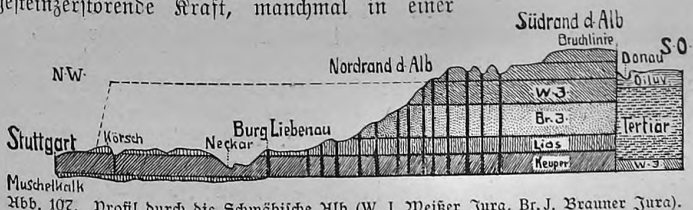


Abb. 107. Profil durch die Schwäbische Alb (W. J. Weißer Jura, Br. J. Brauner Jura). Die senkrechten schwarzen Striche sind vulkanische Explosionskanäle.

(liparitische) Laven zur Erdoberfläche durchgebrochen. Diese verwickelten Verhältnisse haben das Ries lange Zeit zu einem geologischen Rätsel gemacht, um dessen Lösung sich eine Reihe von Forschern umsonst bemühte; erst vor wenigen Jahren gelang es den genialen Untersuchungen von W. Branca und E. Fraas, Klarheit zu schaffen. Nach ihnen ist die weite Riesniederung, zu der man von der Albhochfläche rund 200 Meter steil hinabsteigt, so paradox dies klingen mag, ein Berg. Vulkanische Kräfte, wahrscheinlich ausgehend von einem in der Tiefe versteckten Lakkolithen (S. 93), haben hier mit unerhörter Gewalt

Abb. 108. Blick über das Ries vom Adlerberg bei Nördlingen.
(Photographie v. d. Trappen.)

gewirkt. Ein etwa fünf Quadratmeilen breites Stück der Erdkruste wurde aus seinem Zusammenhang gerissen, wie ein riesiger Pfropfen in die Höhe gepreßt und als Berg über die Fläche der umgebenden Alb emporgeschoben. Daß der Pfropfen dabei in Stücke, in einzelne Schollen zerbrach, ist leicht verständlich. Manche dieser Schollen konnten sich in der stark gehobenen Lage nicht halten und rutschten auf das Albplateau hinunter, wo wir sie noch heute in regelloser Lagerung antreffen.

Wäre es bei diesem Stand der Dinge geblieben, so würden noch heute der Schwäbische und Fränkische Jura ein zusammenhängendes Gebirgsland bilden; das breite Tor des Ries, das schon die alte Handelsstraße von Augsburg nach Nürnberg als bequemen Durchgang benutzte, existierte nicht, und die alte Reichsstadt Nördlingen wäre schwerlich entstanden. Wie lange der Riesberg über der Alb thronte, wissen wir nicht, es können ein paar hundert oder mehrere hunderttausend Jahre gewesen sein. Dann kam der zweite Akt des Schauspiels. Wir haben schon oben Beispiele plötzlichen Zusammenbruchs vulkanischer Erhebungen kennen gelernt und müssen auch für den Riesberg eine ähnliche Katastrophe annehmen. Bei seinem Sturz ging alles in Trümmer, was etwa bei der Hebung noch im Zusammenhang geblieben war, und es entstand der Rieskessel, gewissermaßen ein weites Loch der Erdkruste, an dessen Boden das sonst tief versteckte „Urgebirge", Granit und Gneis, sichtbar wird.

Daß der Zusammenbruch des Riesbergs ein explosiver Vorgang größten Maßstabes war, nicht unähnlich der Sprengung des Kobandai, ist im Hinblick auf die starke Zertrümmerung des ganzen Grundgebirges ziemlich wahrscheinlich. Findet man doch im gesamten Riesgebiet kaum irgendwo noch ein frisches, nicht zerfallenes Granit- oder Gneisstück. Ist aber auch die große Explosion nicht mehr mit Sicherheit nachzuweisen, so sind doch die deutlichsten Spuren zahlreicher kleiner vorhanden. Sie beschränken sich nicht auf die Riesniederung selbst, auch die umgebenden Albhochflächen sowie deren Abdachung gegen die Donau hin wurden an vielen Stellen durchschlagen und zerrissen. Nur sind es meistens keine Durchbruchsröhren, gefüllt mit vulkanischem Tuff, wie im Gebiet von Urach; die vulkanische Kraft äußerte sich diesmal in anderer, aber kaum minder gewaltsamer Weise. Im Mittelpunkt der Explosionsstellen wurden große Schollen, ganze Felsmassen des weißen Jurakalkes mit unerhörter Gewalt losgerissen und in die Höhe geschleudert. Sie flogen in weitem Bogen durch die Luft und fielen dann mit solcher Wucht zu Boden, daß sie sich in die Unterlage tief einwühlten, ja am Rande mit ihr verschmolzen. So liegt bei Donaueschingen südlich des Ries eine große zertrümmerte Kalkscholle auf tertiärem Meeressand. Von der Gewalt ihres

Sturzes legt die Tatsache Zeugnis ab, daß Kalk und Sand in einer Schicht von ein bis zwei Metern Dicke ganz und gar ineinander gepreßt sind! Immerhin sind derartig gewaltsame Vorgänge nur Ausnahmen. Was man gewöhnlich sieht, ist eine Zerschmetterung des Gesteins an Ort und Stelle. Mitten im ungestörten weißen Jurakalk treten zahlreiche Inseln auf, wo der sonst feste Kalkstein in tausend und abertausend kleine Stücke zersprengt (Abb. 109), ja bei stärkster Explosionswirkung ganz und gar zu feinem Sand zerrieben ist. Daß solcher „Gries" noch zusammenhält, verdankt er einer nachträglichen Verkittung durch kalkhaltiges Wasser, das die Trümmermassen durchtränkte.

Wie aber kamen diese Explosionen zustande? Von vulkanischen Auswurfmassen, „von Schußkanälen", ist auf den meisten Griesinseln nichts zu sehen, und wo Tuffröhren vorkommen, sind sie erst nach der „Vergriesung" ausgeblasen worden. W. Branca hat auch für dieses Rätsel eine Lösung gegeben.

Wenn Lavamassen, so folgert er, aus dem Erdinnern emporsteigen und in die höheren Schichten der Erdkruste gelangen, werden sie gelegentlich auf ihrem Wege unterirdische Wasseransammlungen oder stark wasserhaltige Schichten antreffen. Infolge der Glühhitze verdampft das Wasser, da den Dämpfen aber nirgends Raum zum Entweichen bleibt, steigert sich ihre Spannung mehr und mehr, bis schließlich bei fortgesetzt steigender Temperatur eine Explosion eintritt. Alles dies spielt sich ziemlich nahe unter der Erdoberfläche ab (in tieferen Schichten gibt es aller Wahrscheinlichkeit nach keine bedeutenden Wassermassen), somit kommt die Bildung weit hinabreichender Durchbruchskanäle gar nicht in Frage. Es handelt sich ja auch gar nicht um eine Explosion vulkanischer Gase, nur Grundwasser wird in Dampf verwandelt und bahnt sich gewaltsam einen Ausweg. Branca nennt dies eine „Kontakt- oder Berührungs-Explosion". Man wird ohne weiteres zugeben, daß der Vorgang nicht nur denkbar ist, sondern überall erfolgen muß, wo die Wasserdämpfe keine offenen Spalten zum Entweichen finden.

Hiermit sind wir bei der frühesten Stufe der Vulkanbildung angelangt, bei den ersten Anzeichen, die an der Erdoberfläche vom Emporsteigen eines Magmaherdes Kunde geben. Wie weit nun die Entwicklung fortschreitet, und ob sich an einer von Kontaktexplosionen und Durchbruchskanälen zerrissenen Stelle der Erdkruste später ein wirklicher Vulkan aufbaut, hängt von Umständen ab, die wir heute noch nicht übersehen können. Ist uns doch das eigentliche Wesen der vulkanischen Kraft, die Ursache des wechselnden Anschwellens und Zurücksinkens der Lavamassen, noch immer rätselhaft, trotz der

Abb. 109. Zertrümmerter Weißjura am Kapf bei Trochtelfingen. (Photographie v. d. Trappen.)

ausgiebigen Erörterungen, die namentlich in jüngster Zeit über dieses Thema geführt wurden. Was für chemische und physikalische Vorgänge sich in der Tiefe eines glühenden vulkanischen Herdes abspielen, wird wohl für alle Zeiten ein Geheimnis bleiben. Erforschen kann man nur die äußeren Teile der Maschine, über ihren inneren Mechanismus läßt sich wohl allerlei mutmaßen, aber wenig oder nichts feststellen. All die künstlichen Nachbildungen vulkanischer Ausbrüche, die man im kleinen im Laboratorium angestellt hat, leiden an so bedeutenden Mängeln, daß sie eigentlich gar nichts beweisen. Die Verwendung schmelzflüssiger Gesteinmasse ist in vielen Fällen ausgeschlossen, und Wachs, Pech, Ton sind ein sehr unvollkommener Ersatz

dafür! Selbstverständlich ist es auch unmöglich, mit so ungeheuren Druckkräften zu experimentieren, wie man sie für das Erdinnere voraussetzen muß, und das ist vielleicht der Hauptmangel; denn unter sehr hohen Drucken ändern sich die physikalischen Eigenschaften der Stoffe ganz bedeutend. Solange der Laboratoriumstechnik nicht neue, ungeahnte Hilfsmittel erschlossen werden, ist man bei der Frage nach dem Ursprung der vulkanischen Kraft auf rein theoretische Betrachtungen angewiesen.

Die Quelle der vulkanischen Kraft.

Über die vulkanischen Theorien ließe sich allein ein ganzes Buch schreiben. Was hat man nicht alles behauptet, was für phantastische, ungeheuerliche Gedanken zutage gefördert! Wir wollen hier ganz schweigen von den Ansichten mancher christlicher Schriftsteller des Mittelalters, die in den Vulkanen Schlote des höllischen Feuers erblickten, und uns lediglich an wirklich naturwissenschaftliche Theorien halten. Auch hier findet man manches Sonderbare. Der sonst hochverdiente kursächsische Geologe A. Werner (1780—1817 Professor an der Freiberger Bergakademie) glaubte in unterirdischen Kohlenbränden die Ursache der vulkanischen Erscheinungen gefunden zu haben, andere Gelehrte jener Zeit dachten an Selbstentzündung von Schwefelkieslagern oder Alaunschichten. Der Franzose Lemery „erfand" sogar eine Methode zur künstlichen Herstellung von Vulkanen, indem er unterhalb einer mit Wasser gefüllten Erdschicht Eisenfeile und Schwefel miteinander zu mengen vorschlug. Ob er dies einmal praktisch ausprobiert hat, ist mir unbekannt. Nach anderen Ansichten sollen in der Tiefe der Erde ungeheure Mengen von Alkalimetallen oder gebranntem Kalk oder von Karbiden angehäuft sein, lauter Stoffe, die bei Zutritt von Wasser unter starker Erhitzung eine explosionsartige Zersetzung erleiden. Solche Vorgänge wären ja auch im Erdinnern denkbar, aber schwerlich reicht der Vorrat der erwähnten Stoffe aus, um die gewaltigen Kraftäußerungen des Vulkanismus hervorzurufen. Von gebranntem Kalk und Karbiden ist es überhaupt sehr zweifelhaft, ob sie im Erdinnern vorkommen, und der Gehalt der vulkanischen Herde an Alkalien müßte geradezu ungeheuerlich sein; hat doch Fouqué berechnet, daß allein bei einem stärkeren Ausbruch des Ätna etwa sieben Millionen Kubikmeter Natriummetall einer plötzlichen Zersetzung erliegen müßten.

Man hat diese chemischen Erklärungsversuche für endgültig abgetan erachtet, sie sind aber wieder aufgelebt, seitdem man die merkwürdigen Erscheinungen der Radioaktivität kennen gelernt hat. Wie wir früher sahen, fällt dem Radium wahrscheinlich die Aufgabe zu, das Wärmegleichgewicht der Erde im großen und ganzen aufrechtzuerhalten. Das ist aber nicht so zu verstehen, als ob nun die Temperatur der radiumhaltigen Erdzone, also die geothermische Tiefenstufe innerhalb dieser Schichten, während des ganzen uns bekannten Abschnitts der Erdgeschichte unverändert geblieben sein müßte. Eher ist anzunehmen, daß in langen, vielleicht mehrere Jahrmillionen umfassenden Zwischenräumen Perioden der Erwärmung und Erkaltung miteinander abgewechselt haben. Radiumreiche Erdschichten müssen sich ja im Lauf der Zeit beträchtlich erhitzen, und schon erstarrte Gesteine können dabei wieder zum Schmelzen kommen. Damit wäre die Gelegenheit zur Entstehung neuer vulkanischer Herde gegeben, es fragt sich nur, ob die in den Gesteinen enthaltene Radiummenge wohl genügt, um solche Wirkungen hervorzubringen. Die bisherigen Untersuchungen scheinen das zu bejahen. Nach Strutt richtet sich der Radiumgehalt im allgemeinen nach dem chemischen Charakter des Gesteins, indem saure Felsarten, z. B. Granit, das meiste, basische, z. B. Basalt, das wenigste Radium führen. Aber selbst der ärmste Basalt enthält nach der Berechnung noch reichlich genügende Mengen jenes wärmebildenden Stoffes. Wir kommen auf die Aussichten, die diese neue Theorie bietet, am Schluß des Abschnittes zurück.

Die bisher erwähnten Theorien stimmen darin überein, daß sie die Lava erst einige Zeit vor dem Ausbruch entstehen lassen; sie setzen ein festes Erdinnere voraus, in dem nur an einzelnen Stellen infolge chemischer Wechselwirkungen schmelzflüssige Glutherde zustande kommen. Auch aus rein mechanischen Ursachen glaubte man ihre Bildung erklären zu können. In den tieferen Schichten der Erdrinde sollten gewaltige Einstürze stattfinden, wobei durch den Fall und die gegenseitige Reibung der Felsmassen eine derartige Hitze sich entwickelte, daß

auch die härtesten Gesteine zum Schmelzen kämen. Als man später einsah, daß so riesengroße Hohlräume, wie sie hier vorausgesetzt werden, bei dem enormen Druck im Erdinnern unmöglich existieren können, hat man auf die Schrumpfung der Erde zurückgegriffen. Beim Nachsinken der Kruste sollen, wie früher angeführt wurde, große Schollen ins Rutschen kommen, andere geknickt, gepreßt und gefaltet werden; sobald nun ein Hindernis diese Bewegungen plötzlich hemmt, müssen sie sich in Wärme umsetzen, die wohl genügt, um eine Schmelzung der Gesteinmassen herbeizuführen. Indessen scheint auch diese Erklärung aus mancherlei Gründen unhaltbar. So hat Arrhenius berechnet, daß man plötzliche Senkungen um mindestens 85 Kilometer annehmen müsse, damit Schmelzung eintrete, was selbstverständlich äußerst unwahrscheinlich ist. Allerdings könnte sich auch infolge einer langsamen, „gleitenden" Bewegung benachbarter Erdschollen sehr starke Hitze entwickeln, aber sie bliebe in diesem Fall auf die allernächste Umgebung der Gleitflächen beschränkt und würde sich sehr bald wieder verlieren; unmöglich könnte auf diese Weise dabei ein dauernder Schmelzherd zustande kommen. Alle Bewegungen, die mit der angeblichen Schrumpfung der Erdkruste zusammenhängen, sind auf jeden Fall viel zu unbedeutend, um das Entstehen großer Lavabecken zu ermöglichen.

Wir müssen schon annehmen, daß in den Tiefen der Erde von jeher gewaltige Schmelzmassen eingeschlossen waren. Wenn das aber so ist, warum steigen dann diese Massen zeitweilig an bestimmten Orten mit solcher Gewalt empor, daß sie die feste Erdkruste aufwölben, zerreißen und durchbrechen, daß die ausgeworfenen Stoffe kilometerhoch in die Atmosphäre hinaufgeschleudert, und ganze Berge in wenigen Tagen aufgeschüttet werden? Warum verhalten sich diese Kräfte gleichzeitig in anderen Gegenden völlig untätig, und warum haben sie während langer geologischer Perioden fast auf dem ganzen Erdenrund geruht?

Man hat den Eindruck, als sei etwas Besonderes, gleichsam von außen Kommendes nötig, um die vulkanischen Herde aus ihrer gewöhnlichen Trägheit aufzurütteln und zu jenen gigantischen Kraftäußerungen zu befähigen. In früherer Zeit hat man allgemein dem Meerwasser die Rolle eines Erweckers zugeschrieben, — es sollte durch offene Klüfte in die Tiefe stürzen und bei Berührung mit dem schmelzflüssigen Erdinnern die vulkanischen Explosionen hervorrufen. Hat man nun auch längst einsehen gelernt, daß offene, bis zu einer Tiefe von vierzig bis fünfzig Kilometer hinabreichende Klüfte ein Ding der Unmöglichkeit sind, weil der ungeheure Druck sie sofort wieder schließen würde, so halten doch noch viele Geologen an der Ansicht fest, das Wasser könne in Dampfform gleichsam durch die Poren der Erdrinde hindurch zu den schmelzflüssigen Herden gelangen. Als Hauptstütze dieser Anschauung gilt die Tatsache, daß fast alle tätigen Vulkane in der Nähe großer Wasseransammlungen liegen.

Betrachten wir an der Hand der beigegebenen Karte die Verbreitung der heutigen Vulkane, so tritt besonders auffällig ihre kranzartige Anordnung um den Stillen Ozean hervor. Die Westküste Amerikas begleiten sie,

Abb. 110. Barren Island, eine Vulkaninsel im Indischen Ozean.

mit nur zwei großen Unterbrechungen, vom Kap Horn bis nach Alaska; hier vermitteln die vulkanischen Aleuten den Anschluß an Asien, wo von Kamtschatka, über die Kariben und das japanische Reich, die Riu-kiu-Gruppe und Formosa bis zu den Philippinen und Molukken sich das großartigste Band vulkanischer Herde schlingt, das auf unserer Erde bekannt ist. Im Süden des Großen Ozeans, wo Festlandmassen fehlen, ist die Kette der feurigen Ausbruchspforten naturgemäß nicht so dicht geschlossen. Die Neuen Hebriden, Neuseeland, Neukaledonien, die Tonga- und Samoa-Inseln sind Stätten einer noch heute andauernden vulkanischen Tätigkeit. Vom inselarmen Südosten des Stillen Weltmeeres wird gelegentlich über unterseeische Vulkanausbrüche berichtet.

Auch um den Indischen Ozean gruppieren sich Feuerberge, doch klaffen hier weite und häufige Lücken. Eine zusammenhängende Vulkanreihe zieht von den kleinen Sundainseln über Java nach Sumatra, zu ihr gehört das berüchtigte Krakatau. Auf Java allein soll es 46 tätige Vulkane geben.

Ganz regellos ist die Verteilung der Feuer-

berge im Gebiet des dritten Weltmeers, des Atlantischen Ozeans. Wir treffen hier vornehmlich vereinzelte Inselvulkane oder Gruppen von solchen; die Kanarischen Inseln mit

Abb. 111. Der Pik von Teneriffa und seine Umgebung. (Nach Piazzi Smyth.)

dem mächtigen Pico de Teyde auf Teneriffa, dessen kraterreiche Umgebung, von oben gesehen, ganz den Eindruck einer Mondlandschaft macht (Abb. 111), die Azoren und Inseln des Grünen Vorgebirges, die kürzlich zu so entsetzlicher Berühmtheit gelangten Antillenvulkane, endlich das eisige, von innerem Feuer durchglühte Island. Im auffallenden Gegensatz zur Regsamkeit der Inselvulkane steht die fast vollkommene Ruhe an den weiten Festlandküsten des Atlantischen Ozeans; einer der wenigen Punkte, wo die Kräfte der Tiefe gelegentlich noch zum Angriff vorgehen, ist der große Kamerunberg, von dessen Wiedererwachen kürzlich in den Zeitungen zu lesen stand.

Eine durchaus selbständige Stellung nimmt das Mittelländische Meer ein. Namentlich das Tyrrhenische Meer, jenes alte, versunkene Festlandsgebiet, gehört zu den unruhigsten Stätten. Die Namen Vesuv, Ätna, Stromboli kennzeichnen drei vulkanische Herde, deren Tätigkeit in der Jetztzeit unermüdlich scheint. Zwischen Sizilien und Afrika ereigneten sich öfters unterseeische Ausbrüche, dort entstand im Jahre 1831 eine neue Insel, bekannt unter dem Namen Ferdinandea, die nichts anderes war als ein mitten im Meer aufgeschütteter Aschen- und Schlackenberg. Die Engländer nahmen sie in Besitz, konnten sich aber des neuen Landerwerbs nicht lange freuen, denn schon im Dezember des gleichen Jahres hatte die Brandung die lockeren Massen wieder fortgespült, ja es blieb nicht einmal eine die Schiffahrt störende Sandbank zurück. — Weit ab von den italienischen Vulkangebieten liegt der fünfte noch tätige Herd des Mittelmeers, die Zykladen-Insel Santorin.

Das eigentliche Innere der Kontinente ist fast gänzlich vulkanfrei. In den weiten (größtenteils aus Schwemmland gebildeten) Tiefebenen Brasiliens, Rußlands und Asiens wird niemand vulkanische Erscheinungen erwarten, aber auch die Hochgebirge Zentralasiens, die Alpenketten Europas, das Nordamerikanische Felsengebirge, die weiten Einöden Australiens und Afrikas kann der Reisende kreuz und quer durchstreifen, ohne auf einen einzigen

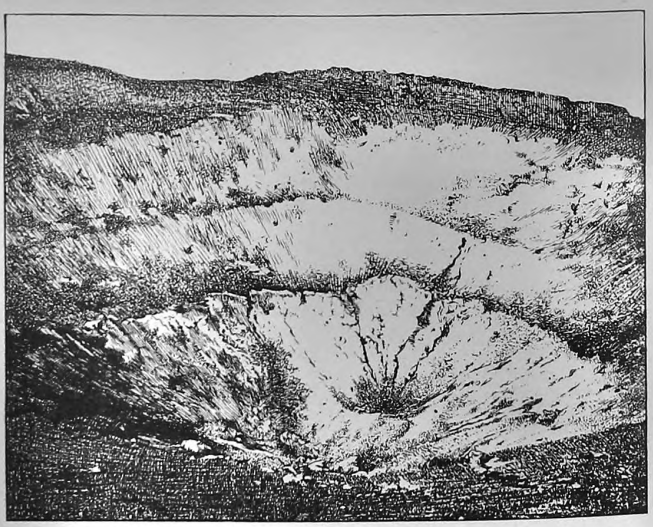


Abb. 112. Blick auf den großen Krater von Volcano (Liparische Inseln).

Feuerberg zu stoßen. Immerhin gibt es Ausnahmen, so die ostafrikanischen Vulkanriesen, deren bekanntester der Ruwenzori ist. Aber sie liegen in der Nachbarschaft des Victoria-

Njansa und der anderen großen Seen jenes Landes, bilden also eine Bestätigung der Regel, daß die vulkanische Tätigkeit die Nähe großer Wasserbecken bevorzugt. Eine wirklich binnenländische Lage kommt nur einer verschwindend kleinen Zahl von Vulkanen zu; das auffälligste Beispiel ist der 300 Kilometer vom Meer entfernte Tolima in Kolumbien.

Nicht anders war es, soweit sich feststellen läßt, in der geologischen Vorzeit. Von den allerältesten Perioden müssen wir freilich absehen, weil über die damalige Verteilung von Land und Meer allzu wenig Sicheres bekannt ist. Aber in den jüngeren Epochen der Erdgeschichte lagen die Vulkane, soviel man weiß, überwiegend in der Nähe der Meere oder großen Binnenseen, mit Sicherheit gilt dies von den tertiären Feuerbergen Deutschlands und seiner Nachbargebiete. —

Die Ansicht, daß den Vulkanen Wasser zuströmen müsse, um sie zu Ausbrüchen zu befähigen, kommt im wesentlichen darauf hinaus, daß sie eine besondere Art der heißen Springquellen oder Geiser sind. Wenn man also den Mechanismus eines Geisers verstände, würde man auch den der Vulkane verstehen. Wir wollen uns daher ein wenig mit diesen seltsamen Naturfontänen beschäftigen.

Das Urbild einer heißen Springquelle ist der Große Geiser auf Island, nordwestlich von der Spitze des Hecla auf einer Hochfläche gelegen. Im Ruhezustand erscheint er als ein von Kieselsinter gebildetes Brunnenbecken von siebzehn Meter oberem Durchmesser. In dessen Mitte senkt sich ein etwa drei Meter weites Rohr dreiundzwanzig Meter senkrecht in die Tiefe; wie es weiter unten verläuft, und ob es sich etwa in mehrere Kanäle verzweigt, ist unbekannt. Für gewöhnlich ist der Brunnen mit kristallklarem, seegrünem Wasser erfüllt, das eine Temperatur von 82 Grad Celsius besitzt und in mehreren kleinen Rinnen über die Böschung des Sinterkegels abfließt. Alle ein bis anderthalb Stunden vernimmt man unterirdisches Donnerrollen, ganz ähnlich dem Getöse, das einen Vulkanausbruch begleitet, nur viel weniger laut. Gleichzeitig schwillt das Wasser im Becken, große Dampfblasen steigen auf, zerplatzen und schleudern siedendes Wasser mehrere Fuß hoch empor. Darauf wird es

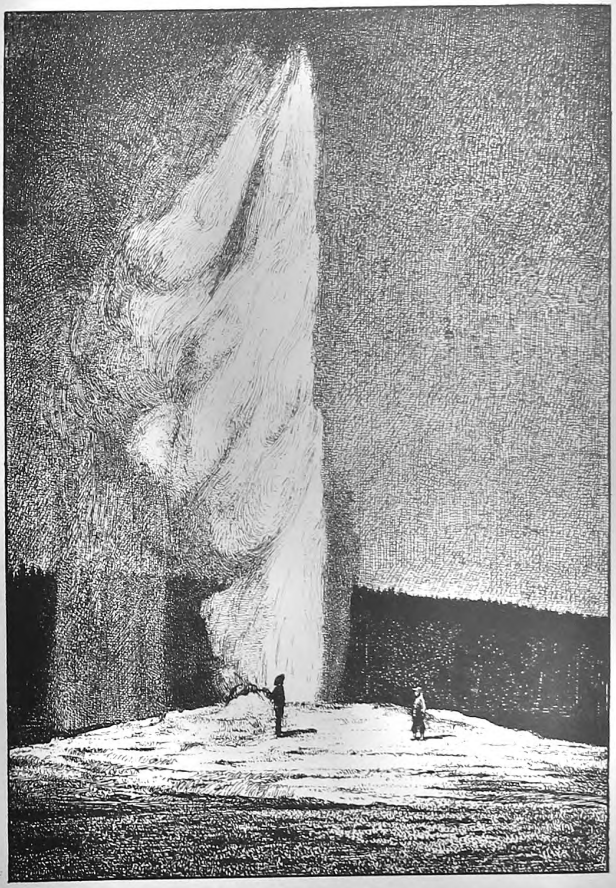


Abb. 113. Ausbruch des Old Faithful-Geisers im Yellowstone-Nationalpark.

still, dichter, weißer Dampf, den der Wind bald verweht, umhüllt das Becken auf kurze Zeit.

So weit die „kleine" Tätigkeit des Geisers, die sich in sehr regelmäßigen Zwischenräumen wiederholt und immer den gleichen Anblick bietet. Auf einmal aber, nach ein bis drei Tagen, also nicht so regelmäßig, erfolgt ein großer Ausbruch. Dann läßt sich stärkeres Donnergetöse hören, das Wasser im Becken

schlägt hohe Wellen und wirbelt umher; bald spritzt ein in blendend weißen Staub zerfallender Wasserstrahl fünfundzwanzig bis dreißig Meter hoch in die Luft, ein zweiter und ein dritter folgen unmittelbar nach. „Größere und kleinere Strahlen verbreiten sich nun in allen Richtungen; einige sprühen seitwärts, kürzeren Bogen folgend, andere schießen aber senkrecht empor mit sausendem Zischen wie die Raketen bei einem Feuerwerk; ungeheure Dampfwolken wälzen sich übereinander und verhüllen zum Teil die Wassergarbe; nun noch ein Stoß, ein dumpfer Schlag aus der Tiefe, dem ein spitziger, alle anderen an Höhe überragender Strahl, auch im Rohre wieder an zu steigen und füllt das Becken, ganz wie vor dem Ausbruch, bis zum Überlaufen mit siedend heißem Wasser aus. Das unterirdische Rollen pflegt vier bis sechs Stunden zu pausieren, dann beginnt das wunderbare Spiel von neuem, jahraus, jahrein immer in gleicher Weise.

Man kennt die Geiser auch von Neuseeland und dem Yellowstone-Nationalpark in Nordamerika, dessen Reichtum an heißen Quellen und Sprudeln aller Art schon oben geschildert wurde. Im einzelnen aber „arbeiten" sie recht verschiedenartig, so springt im Nationalpark der „Alte Getreue" (Old Faithful, Abb. 113) alle

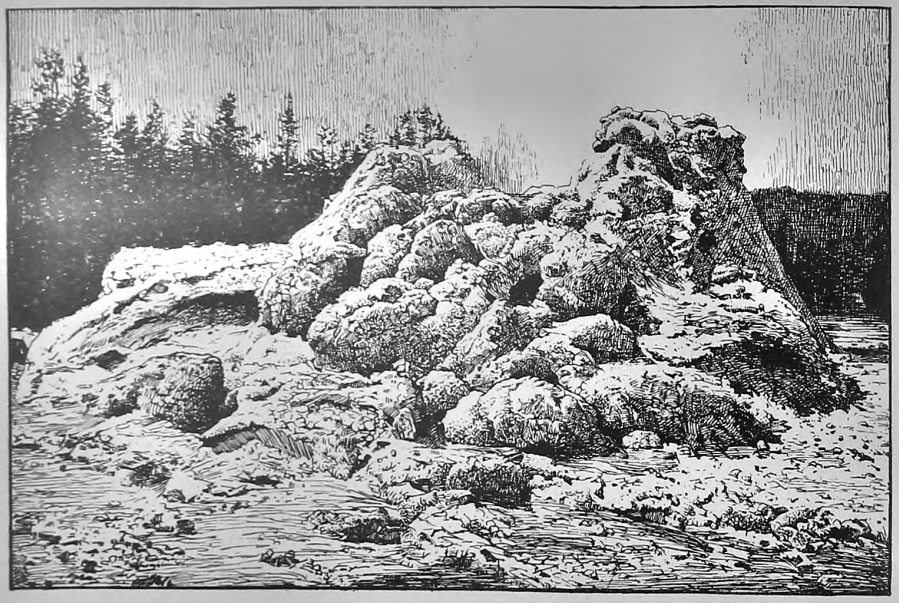


Abb. 114. Der Krater des Castle Geisers im Yellowstone-Nationalpark.

wohl von Steinen begleitet, nachfolgt, und die ganze Erscheinung stürzt — nachdem sie wenige Minuten gedauert — in sich zusammen wie eine phantastische Traumgestalt beim Einbrechen des Morgens. Ehe noch der dichte Dampf im Winde verzogen, und das siedende Wasser an den Seiten des Kegels abgelaufen ist, liegt das vorhin ganz mit Wasser erfüllte Bassin trocken, mit aschgrauen Sinterperlen überdeckt, vor dem Auge des herannahenden Beobachters, der im tiefer führenden Rohre, fast sechs Fuß unter dem Rande, das Wasser ruhig und still wie in jedem anderen Brunnen erblickt" (Cotta).

Nach etwa einer Stunde fängt das Wasser fünfundsechzig Minuten fünfzig Meter hoch, der „Riese" alle sechs Tage fünfundachtzig Meter, der „Reserviſt" (Minute Man, man beachte das Wortspiel!) jede Minute zehn bis fünfzehn Meter hoch. Der Exzelsiorgeiser wirft gelegentlich Steine aus, der „Bienenkorb" entwickelt eine Dampfpinie wie die Vulkane, die „Riesin" besitzt kein aus Sinter gebautes Brunnenbecken, sondern bildet für gewöhnlich einen kleinen Teich mit ruhigem, blauem Wasser, das zweimal im Monate explodiert. Zwei Brunnenrohre hat der „Fächer", dessen Dampfstrahlen sich daher oft in eigenartiger Weise durchkreuzen. Manche Geiser arbeiten auch ganz launenhaft, ohne periodische Regelmäßigkeit.

Um eine Erklärung des merkwürdigen Naturschauspiels haben sich viele Naturforscher bemüht, es ist aber sehr schwierig, eine allen Einzelheiten gerecht werdende Theorie aufzustellen. Uns gefällt der ältere, von dem berühmten Physiker Bunsen (Abb. 115) herrührende Erklärungsversuch noch immer am besten, denn ein so kunstvolles unterirdisches Röhrensystem, wie es einige neuere Geisertheorien voraussetzen, wird die Natur wohl nur ganz ausnahmsweise einmal aufbauen. Die Ursache der Geiserausbrüche ist nach Bunsen darin zu suchen, daß das am Grunde des Brunnenrohrs stehende Wasser infolge des Drucks der auf ihm lastenden Wassersäule sich weit über hundert Grad erhitzen kann, ohne zu verdampfen.*) Man hat an ruhenden Geisern Temperaturmessungen vorgenommen und beispielsweise bei acht Meter Tiefe hundertzehn Grad, bei achtzehn Meter hundertvierundzwanzig Grad beobachtet, während zum Sieden des Wassers noch etwas höhere Gradzahlen, nämlich hundertsechzehn, bzw. hundertdreißig, erforderlich wären. Nun strömt aber von unten, durch die Speisekanäle, beinahe fortwährend überhitztes Wasser zu und erwärmt schließlich doch die tieferen Schichten der Wassersäule, etwa unterhalb CD, bis zum Siedepunkt. Diese verwandeln sich nun plötzlich in Dampf, und der Dampf bläst die ganze noch darüber befindliche Säule aus dem Brunnenrohr hinaus, wodurch ein mächtiger, viele Meter hoch in die Lüfte steigender Strahl zustande kommt. Der Geiser gleicht also, wie Cotta treffend bemerkt, einer großen Dampfkanone, die, statt mit Kugeln mit Wasser schießt. Dieses Spiel dauert so lange, bis sich das Wasser so weit abgekühlt hat, daß es die fernere Dampfbildung verhindert. Hierauf tritt eine Ruheperiode ein, während der die unteren Wasserschichten sich allmählich wieder bis zur Explosion erhitzen.

An die geschilderte Tätigkeit der Geiser erinnert das bei gewissen Vulkanen in regelmäßigen Zeiträumen wiederkehrende Aufwallen des Glutbreis im Krater. Die Beobachtung dieser Erscheinung brachte den Wiener Geologen E. Sueß zu der Ansicht, der Vesuv sei nichts anderes als eine besondere Form der Siedequellen. Im Januar 1871 hatte der Vesuv unterhalb des Hauptkraters, der Bocca, einen kleinen Nebenkrater aufgebaut, den „Cratere parasitico". In diesem wallte die Lava sehr regelmäßig alle sechs bis acht Sekunden auf, während der Hauptkrater die gleiche Erscheinung nur alle zwei Minuten zeigte. Die beiden Ausbruchstellen waren also in dieser Beziehung voneinander unabhängig, woraus folgt, daß allein die Verschiedenheit des Kraterbaues maßgebend war für den Rhythmus. „Am folgenden Tage," schreibt Sueß, „gelang es uns, in das Innere des Cratere parasitico einzutreten. Wir sahen in seiner Esse die Lohe in je 6—8 Sekunden um einen Meter ansteigen; dann lösten sich aus der siedenden Masse kopfgroße Blasen, und glühende Fetzen von Schlacke wurden hoch in die Luft geschleudert. Hierauf sank die Lohe im Schlunde, eine neue Schlackenrinde bildete sich sofort, um durch eine neue Explosion wieder in großen Garben ausgeworfen zu werden. Wolken von Wasserdampf schwebten um die Ausbruchstelle; auch Chlorwasserstoff und schweflige Säure waren anwesend. Im allgemeinen war es aber doch nur das Bild eines Geisers, der neben diesen überhitzten Gasen auch geschmolzenes Gestein auswarf."

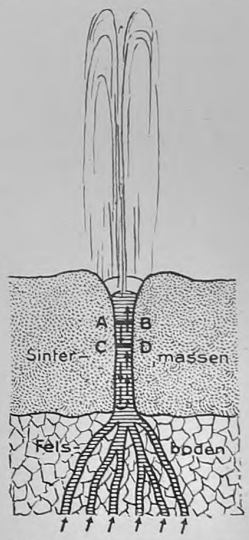


Abb. 115. Schematischer Querschnitt eines Geisers. (Nach Bunsen.)

Eine ähnliche Tätigkeit zeigt der Stromboli, doch sind bei ihm die Zwischenräume der einzelnen Explosionen sehr verschieden lang, er gleicht also einem „launenhaften" Geiser. Wahrscheinlich sind es sehr heiße, aus großer Tiefe aufsteigende Dampfblasen, die den Glutfluß in seinen oberen Teilen so erhitzen, daß es zu den geschilderten kleinen Ausbrüchen kommt. Ob sich auch die großen, katastrophenartigen Eruptionen auf ähnliche Weise erklären lassen, etwa durch das Eintreten gewaltiger Dampfmassen in den Herd des Vulkans, steht dahin. Aber selbst wenn diese Auffassung das

*) Die Siedetemperatur der Flüssigkeiten steigt und fällt mit dem Druck, unter dem sie stehen. Wasser siedet unter normalem Atmosphärendruck (760 mm Barometerstand) bei hundert Grad Celsius, aber unter einem Druck von zwei Atmosphären erst bei $120^1/_2$ Grad. Das Umgekehrte ist der Fall z. B. auf hohen Bergen, wo der Druck geringer ist, und das Wasser schon einige Grad unter hundert zum Kochen kommt.

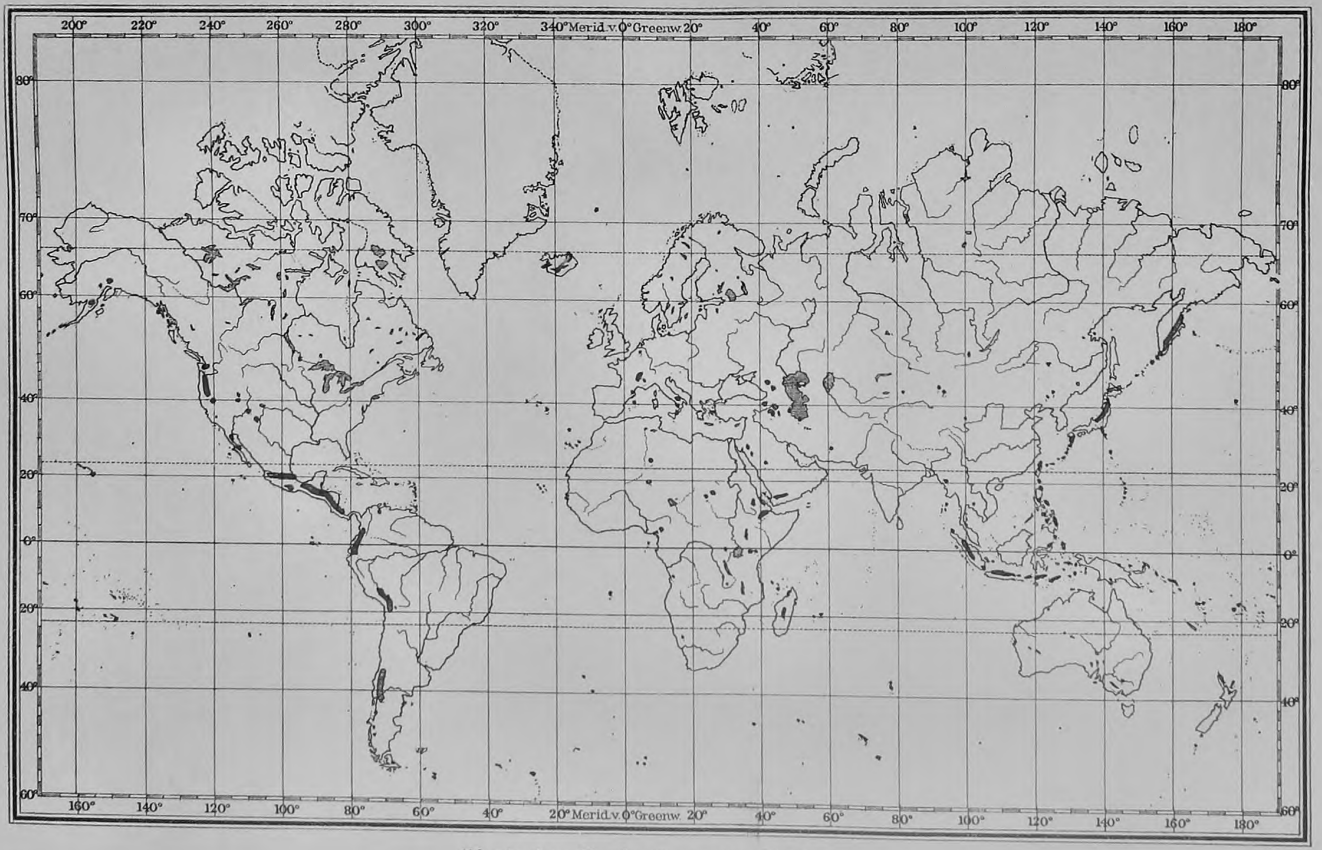
Richtige trifft, bedeutet sie doch keineswegs die endgültige Lösung des Rätsels der vulkanischen Kraft; denn man wird nun fragen, woher jene Dämpfe kamen, und welche Macht sie veranlaßte, plötzlich in so ungeheuren Mengen aufzusteigen. In klarster Weise zeigen uns die ruhigen Ausbrüche der Hawaivulkane, daß die Lava auch ohne vorhergehende Dampfexplosionen ihren Weg zur Oberwelt findet. Das gleiche dürfen wir für die in der Tertiärzeit so massenhaft entstandenen Domvulkane voraussetzen. Und die hawaischen Feuerberge liegen auf einer Insel mitten im ungeheuren Pazifischen Ozean! Wenn irgendwo, sollte hier das Meerwasser Gelegenheit finden, dem Schmelzfluß sich beizumengen. Aber davon ist keine Rede! Wir schließen daraus, daß die Quelle der vulkanischen Energie doch wohl tiefer liegen muß, und die an Siedequellen erinnernde Tätigkeit mancher Feuerschlote nur eine nebensächliche Erscheinung ist. —

Der Merkwürdigkeit halber sei erwähnt, daß man früher geglaubt hat, mit dem eindringenden Meerwasser könnten auch Fische in den Vulkanschlot geraten und dann zusammen mit Asche und Steinen wieder ausgeworfen werden. Von einem früheren Ausbruch des Vesuvs liegt eine schlecht beglaubigte Nachricht dieser Art vor. Man braucht sie aber nicht zu bezweifeln, nur stammten die Fische schwerlich aus dem Meer und hatten ganz gewiß nicht den Weg durch die glühende Vulkanesse gemacht. Als Begleiterscheinung großer Ausbrüche haben wir früher die Schlammströme kennen gelernt. Deren Wassermassen rühren gewöhnlich von Wolkenbrüchen her, bei Feuerbergen, die bis in die Schneeregion aufragen, auch von der Schneeschmelze, sie können aber auch unterirdischen Wasserläufen oder Höhlenseen entstammen, deren Wandungen durch die Explosionen gesprengt wurden. Die Tätigkeit gewisser südamerikanischer Vulkane beschränkt sich fast ganz auf die Entsendung verheerender Schlammströme — solche Feuerberge führen bei den Umwohnern den bezeichnenden Namen „Wasservulkane" (volcanes de agua) —, und ihre Ergüsse enthalten oft Unmengen kleiner Fische, die zweifellos in wassergefüllten Spalten des Berginnern gelebt haben. Es sind die sogenannten Prenadillen, den Welsen verwandte, sehr lichtscheue Tiere, deren man sonst nie habhaft wird. Etwas Ähnliches mag sich ja früher auch einmal am Vesuv zugetragen haben. —

Nach dieser Abschweifung kehren wir zu der Frage zurück, ob die Vulkane vom Meer gespeist und zu Ausbrüchen befähigt werden, oder ob das Wasser einen ursprünglichen, notwendigen Bestandteil ihrer Schmelzmassen bildet. Uns scheint die erstgenannte Ansicht namentlich aus zwei Gründen unhaltbar. Erstens wäre dann die Existenz festländischer, auch nur wenige Kilometer vom Meere gelegener Vulkane unbegreiflich, alle Ausbrüche müßten auf dem Meeresgrunde oder unmittelbar an der Küste erfolgen. Zweitens scheint es undenkbar, daß von außen zur Lava gelangendes Wasser den ganzen Schmelzfluß gleichmäßig durchtränken könnte, die Wirkung müßte sich auf die Berührungsstelle beschränken, wo nach einigen heftigen Kontaktexplosionen bald wieder Ruhe eintreten würde. Auf keinen Fall gibt diese Theorie eine Erklärung für jene riesigen Lavaergüsse, die oft Monate, selbst Jahre hindurch andauern und viele Millionen Kubikmeter Glutbrei zur Oberwelt befördern. Wir entscheiden uns daher für die Auffassung, daß die vulkanische Triebkraft eine den schmelzflüssigen Gesteinmassen von Natur zukommende Eigenschaft ist.

Wenn sich das so verhält, wie erklärt sich dann die auffällige Verteilung der Feuerberge auf der Erdoberfläche? Ganz einfach aus dem Umstand, daß die Küsten der Festländer und Inseln zugleich Ränder großer Einbruchsgebiete, nämlich der Ozeane, sind, also besonders schwache Stellen der Erdkruste, an denen die feuerflüssigen Massen mit Leichtigkeit durchbrechen können. Namentlich im geologischen Sinn ganz junge Bruchlinien, wie sie die ganze Westküste Amerikas, die ostasiatischen Inselgruppen, die Ränder des Tyrrhenischen Meeres begleiten, werden auf diese Weise mit bogenförmig geschwungenen Vulkanreihen besetzt. Im Gegensatz dazu sind die alten Bruchlinien im Innern der heutigen Kontinente größtenteils längst „vernarbt" und leisten dem Drängen der unterirdischen Gewalten erfolgreichen Widerstand. Hierbei kann die Frage, welche Kräfte jene Spalten aufgerissen haben, vorerst unerörtert bleiben, wir begnügen uns, die Tatsache festzustellen, daß die große Mehrzahl der Vulkane auf ganz zerrütteten Stellen der Erdkruste emporgestiegen ist.

Wo steckt nun die treibende Kraft? Auf keinen Fall dürfen wir sie in großen Tiefen suchen, denn sonst wäre es unverständlich, warum zu einer Zeit immer nur ein vereinzelter Feuerberg oder zwei bis drei benachbarte in Aufruhr geraten. Besonders auffällig trat diese Erscheinung bei der letzten großen Aus-



Karte der Verbreitung der Vulkane

bruchsperiode der Antillenvulkane in den Jahren 1902/03 hervor. Aus Zeitungsberichten wird sich der Leser erinnern, daß damals zwei Feuerschlote, der Mont Pelé auf Martinique und die Soufrière auf dem etwa 180 Seemeilen entfernten St. Vincent, gleichzeitig ihre verderbenbringende Tätigkeit entfalteten, während die benachbarten, gleichfalls vulkanischen Inseln Santa Lucia und Dominica völlig unberührt blieben. Die zeitliche Übereinstimmung

Abb. 116. Ein Teil des Quais von St. Pierre nach der Zerstörung.

ist namentlich bei den Hauptausbrüchen sehr überraschend, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

1902

Mt. Pelé 8., 20. Mai, 30. Aug., 3. Sept., —
Soufrière 7., 18. Mai, — 3. Sept., 15. Okt.

1903

Mt. Pelé 25. Jan., 26. März, 12.—16. Sept.
Soufrière 22. Jan., 22. März. —

Diese Beziehungen lassen den Schluß zu, daß beide Vulkane aus einem gemeinsamen Lavabecken gespeist werden, also aus einem „peripherischen Herd" im Sinne Stübels (S. 75). Aber so glatt, wie es hiernach scheint, erledigt sich die Frage nicht. Frühere Ausbrüche haben gezeigt, daß die Feuerschlote der Antillen auch unabhängig voneinander tätig sein können. Aus den Jahren 1718 und 1758 wird über verheerende Ausbrüche der Soufrière, aus 1851 über ebensolche auf Martinique berichtet, ohne daß gleichzeitig auf der Nachbarinsel die Ruhe gestört wurde. Da nun auch die jüngsten Katastrophen nicht immer zusammenfallen, indem sich z. B. im September 1903 die Soufrière still verhielt, während der Mont Pelé tobte, wie kaum je zuvor, so ist Stübel der Ansicht, daß beide Inseln doch über getrennten Lavabecken liegen, die aber nur Ableger eines gemeinsamen Herdes in größerer Tiefe sind (Abb. 117). Dieser erwachte in jüngster Zeit zu furchtbarer Kraftentfaltung, riß die alten verstopften Kanäle wieder auf, füllte sie mit den emporgeschobenen Lavamassen und bewirkte jene unerhört gewaltsamen Ausbrüche, denen so viele tausend Menschenleben zum Opfer fielen.

Als Ursache so plötzlichen Aufsteigens der im Erdinnern eingeschlossenen Schmelzmassen nahm Stübel eine Ausdehnung des Glutbreies in einem gewissen Stadium der Abkühlung an. Im allgemeinen gilt bekanntlich das Naturgesetz, daß feste wie flüssige Körper sich bei Er-

wärmung ausdehnen und bei Erkaltung zusammenziehen, darauf beruht ja unsere ganze Wärmemessung mittels des Thermometers. Aber manche Körper verhalten sich doch anders. Geschmolzenes Wismut dehnt sich beim Erkalten, kurz bevor es in den festen Zustand übergeht, sehr erheblich aus. Sehr auffällig ist das Verhalten der allergewöhnlichsten Flüssigkeit, des Wassers. Kühlt man beispielsweise Wasser von Zimmertemperatur ab, so zieht es sich zwar anfänglich zusammen, erreicht aber bei vier Zentigraden über Null seine größte Dichtigkeit und nimmt dann wieder an Rauminhalt zu, bis es zu Eis erstarrt ist. Hierbei wird auf Körper, die der Ausdehnung hindernd im Wege stehen, ein kolossaler Druck ausgeübt. Bringt man Wasser von vier Grad Wärme wie ja auch Bimsstein auf Wasser schwimmt, ohne spezifisch leichter als dieses zu sein.

Neuere Versuche, das schwierige Problem zu lösen, stützen sich auf die Untersuchungen des Göttinger Chemikers Tammann über Kristallisieren und Schmelzen der Stoffe bei hohen Drucken. Um zu verstehen, worauf es hier ankommt, müssen wir ein wenig ins Gebiet der physikalischen Chemie abschweifen. Nach den Gesetzen der Wärmelehre hängt der Schmelzpunkt (d. h. die Temperatur, bei der ein Körper schmilzt) vom äußeren Druck ab. Steigt der Druck, so steigt bei allen Stoffen, die sich beim Erstarren zusammenziehen, auch der Schmelzpunkt, d. h. sie werden schwieriger flüssig, während Wasser und alle anderen, die sich beim Festwerden ausdehnen, bei höherem Druck leich-

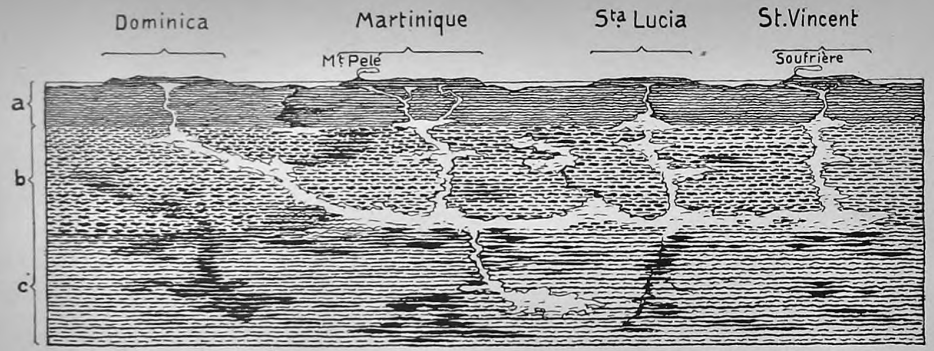


Abb. 117. Hypothetisches Profil der Erdrinde unter den kleinen Antillen (a Schichtgesteine, von vulkanischen Gesteinen durchschmelzt und zum Teil metamorphosiert; b Panzerdecke mit peripherischen Herden; c Erstarrungskruste.) (Nach Stübel.)

in eine vollständig geschlossene eiserne Hohlkugel, so daß sie ganz und gar ausgefüllt ist, und kühlt das Ganze weiter ab, so werden die eisernen Gefäßwände mit Leichtigkeit von dem sich ausdehnenden Wasser gesprengt.

In ähnlicher Weise sollen sich nach Stübel auch die geschmolzenen Gesteinmassen verhalten. Die Rolle der Gefäßwände übernimmt hier die auflagernde Schichtendecke, der anschwellende Glutbrei reißt sie in Stücke und dringt durch die Spalten hinauf. Es fragt sich nun, ob diese Theorie beweisbar oder zum mindesten wahrscheinlich ist. Das öfters, namentlich am Feuersee Kilauea, beobachtete Schwimmen von Lavafelsen auf dem glutflüssigen Spiegel scheint ja anzudeuten, daß feste Lava wirklich spezifisch leichter ist als flüssige, also beim Erstarren sich ausgedehnt hat, aber möglicherweise ist solches Schwimmen nur eine Folge der schwammigen, porösen Beschaffenheit der festen Lava, ter schmelzen. So schmilzt Eis unter einem Druck von 1000 Atmosphären schon bei sieben Grad unter Null, der Schmelzpunkt ist also infolge der starken Zusammenpressung um sieben Grad gesunken. Bei diesem Druck könnte Eis von 0 Grad nicht bestehen, es müßte ganz zu Wasser werden. Mousson hat dies durch einen interessanten Versuch bewiesen, indem er einen Stahlzylinder in einem Eisblock oben einfrieren ließ und dann den Block einem Druck von 13000 Atmosphären in einer Presse aussetzte. Dadurch wurde das Eis flüssig, und der Stahlzylinder fiel nach unten und wurde nach Aufhören des Druckes in dem unteren Teil des wieder erstarrten Eisblockes gefunden. Durch Druck kann man auch zwei Eisstücke zusammenfrieren lassen.

Nach Tammanns Untersuchungen verhalten sich nun die Gesteinstoffe (größtenteils kieselsaure Salze) keineswegs wie Eis, sondern

schmelzen bei erhöhtem Druck schwieriger, woraus nach dem oben erwähnten Gesetz zu schließen ist, daß sie sich beim Erstarren zusammenziehen. So weit hat also die Stübelsche Theorie unrecht. Es hat sich aber gezeigt, daß der Schmelzpunkt nicht bis ins Ungemessene steigt, sondern bei einem gewissen Drucke, der für jeden Stoff verschieden ist, wieder zu sinken anfängt, d. h. unter sehr hohen Drucken dehnen sich die meisten Flüssigkeiten beim Erstarren aus. Für schmelzflüssige Gesteinmassen wird der dazu nötige Druck auf 40 000 Atmosphären geschätzt.

Wie lassen sich nun diese Verhältnisse zur Erklärung der vulkanischen Kraft verwerten?

Es folgt aus ihnen zunächst, daß man im Erdinnern, soweit es schmelzflüssig ist, zwei Zonen unterscheiden muß: eine obere, die infolge der fortschreitenden Kristallisation der Gesteine zusammenschrumpft, und eine tiefergelegene, die umgekehrt das Bestreben zeigt anzuschwellen. Der obenerwähnte Druck von 40 000 Atmosphären entspricht einer Tiefe von 150 Kilometern, hier etwa würde die Grenze zwischen beiden Zonen liegen. Mancherlei Gründe, mit deren Aufzählung wir den Leser nicht ermüden wollen, sprechen dafür, daß in dieser Tiefe ein verfestigter, kristallisierter Gürtel verläuft, so daß sich ein Bild ergibt, wie es Abb. 2 unserer Tafel über den Aufbau des Erdkörpers ganz schematisch darstellt. Die vulkanische Kraft kann nur unterhalb dieses Gürtels ihren Ursprung haben. Hier sammeln sich infolge der fortschreitenden Schmelzung des erkaltenden Glutbreis allmählich gewaltige Spannkräfte an, die schließlich so wachsen können, daß sie den inneren Erstarrungsgürtel an einzelnen Stellen sprengen. Dann ergießen sich glutflüssige Massen in die oberen Regionen und speisen die kraftlos gewordenen Herde aufs neue. —

Wir glaubten diese von Johnsen, v. Wolff und anderen begründete Vulkantheorie dem Leser etwas ausführlicher mitteilen zu sollen, weil sie sich auf tatsächliche physikalische Beobachtungen stützt und unserer oben aufgestellten Forderung, daß dem Glutfluß eine selbständige Triebkraft zukommt, vollauf entspricht. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß wir sie für die allein seligmachende halten. Es ist gut möglich, daß auch noch andere Gründe als die in dieser Theorie vorgesehenen die Lava zum zeitweiligen Aufsteigen und Ausbrechen veranlassen. Im besonderen ist eine der wichtigsten Grundlagen des ganzen Gedankenganges rein hypothetisch, nämlich die Annahme einer fortschreitenden Erkaltung des gesamten Erdkörpers. Hier sei auf die Bedenken verwiesen, die wir eingangs dieses Kapitels gegen die Schrumpfungshypothese geltend machten. Dazu kommt, daß die jahrmillionenlangen Ruhepausen des Vulkanismus während der kambrischen und mesozoischen Zeiten ganz unerklärlich scheinen, wenn man die Quelle der vulkanischen Kraft in einer stetig fortschreitenden Kristallisation des flüssigen Erdinnern sucht. Unseres Erachtens bietet die folgende Hypothese eine bessere Lösung des Rätsels.

Abb. 118. Saint Michel in Puy (Auvergne), ein vulkanischer Tuffkegel.

Um die Kräfte der Tiefe, Vulkanismus und Gebirgsbildung, aus ihrem todähnlichen Schlummer zu erwecken, mußte ein gewisses Maß von Energie erforderlich sein. Diese Energie wurde während der langen Ruhepausen durch radioaktive und chemische Vorgänge im Erdinnern aufgespeichert und bestand wohl wesentlich in einer starken Erhitzung gewisser, nicht sehr tief gelegener Erdschichten. Hierbei konnten sich neue Schmelzherde bilden und infolge der starken, durch die Wärmezunahme bewirkten Aus-

dehnung gewaltige Spannkräfte anhäufen. Hatten diese ein genügend hohes Maß erreicht, so begann eine jener großen erdgeschichtlichen Revolutionen, von denen uns die Tertiärzeit ein so klassisches Beispiel liefert. Dann entlud sich in riesenhaften Ausbrüchen die Hauptmasse des angesammelten Vorrats vulkanischer Energie, womit zugleich der Überschuß an innerer Erdwärme ausgeglichen wurde. Schließlich trat Erschöpfung ein, und die stille Ansammlung der Kräfte begann von neuem. Wir gelangen so zu der Vorstellung abwechselnder Perioden der Aufspeicherung und der Zerstreuung von Energie oder, was dasselbe ist, der Erwärmung und Abkühlung, eine Annahme, die jedenfalls mit allem, was wir vom Verlauf der Erdgeschichte wissen, in guter Übereinstimmung steht.

□ □

Dritter Abschnitt.

Werden und Vergehen im Reich der Gesteine.

Erst seit kurzer Zeit weiß man, daß die Erscheinungen des Werdens und Vergehens, der ewigen Erneuerung und Umgestaltung, nicht, wie man früher dachte, auf die organische Welt beschränkt sind, sondern auch in gewissen Veränderungen der „toten", anorganischen Materie deutlich zutage treten. Das Gesetz der Beständigkeit, Unveränderlichkeit der chemischen Grundstoffe (Elemente) hat den neuesten Forschungen, die sich an die Entdeckung des Radiums knüpfen, nicht standgehalten. Man hat erkannt, daß Elemente zerfallen und ganze Stufenleitern von Entwicklungszuständen durchmachen, um schließlich in scheinbar beständige Körper überzugehen. Aus Uran entsteht Radium, aus Radium Helium, aus Helium — nach einer langen Reihe von Zwischenzuständen — Polonium. Aber auch das Polonium ist nicht beständig; es scheint sich allmählich in Blei umzuwandeln, das dann eine nach unseren heutigen Kenntnissen beständige „Art" darstellt. Nach dieser Auffassung wäre alles Blei im Lauf unermeßlich langer Zeiträume aus Uran hervorgegangen. Aber schon deuten gewisse Untersuchungen darauf hin, daß auch Blei und vielleicht alle anderen Elemente einen äußerst langsamen Zerfall erleiden. Der Werdegang der anorganischen Materie scheint die Rückkehr in einen einfachen, nicht mehr entwicklungsfähigen, „toten" Urstoff zu bedeuten.

Auch wenn man absieht von den in mancher Hinsicht noch nicht genügend geklärten Erscheinungen der Radioaktivität, hat man das Recht, von einem Werden und Vergehen der anorganischen Welt zu sprechen. Reiche Gelegenheit findet der Physiker wie der Chemiker, der Geologe wie der Geograph, dem Studium der Metamorphose „toter" Gebilde nachzugehen. Interessant, reizvoll in dieser Beziehung ist namentlich das Reich der Gesteine.

Aber ist denn nicht ein Stein etwas Starres, Unveränderliches? Trotzt er nicht dem Wechsel der Jahrhunderte und Jahrtausende? Gilt nicht der Fels als Symbol der Beständigkeit? Nur uns kurzlebigen Menschen kommt das so vor. Auch die Steine machen ihre Entwicklung durch; sie wachsen, wandeln sich um, zerfallen und geben Stoff zu neuen Bildungen, alles aber so unendlich langsam, im Lauf so ungeheuer langer Zeiträume, daß der menschliche Geist bei oberflächlicher Betrachtung hier nur Stillstand und ewige Ruhe zu erkennen glaubt. Wer aber mit ernstem Studium eindringt in die Welt der Steine, wer es versteht, ihnen die streng gehüteten Geheimnisse zu entreißen, die ihren Werdegang verhüllen, wer in mühsamer Kleinarbeit der rätselhaften Lebensgeschichte dieser starren Massen nachspürt, dem wird zum Lohn eine seltene Erkenntnis zuteil.

Die Erde ist der Menschen Haus, und nicht nur das Material, aus dem das Haus gebaut ist, auch die Baumeister, die schaffenden und bildenden Kräfte, wollen wir kennen lernen. Wie sind die Steine entstanden? fragen wir uns, was für Kräfte haben sie zu den ungeheuren Massen zusammengefügt, die hier versteckt unter ebenem Boden ruhen, dort sich zu gewaltigen Hochgebirgen emportürmen? Und da erfahren wir, daß es gar mannigfache Baumeister waren, lebende und leblose, vielfach miteinander abwechselnd und sich gegenseitig ergänzend. Da sind Wind und Sonne, Regen, Schnee und Eis, Weltmeere, Flüsse und Bäche, da ist vor allem das Feuer des Erdinneren mit seinen tausend und aber tausend vielgeschäftigen Sendboten, denen die Hauptrolle zufiel bei dem riesenhaften Baugeschäft. Aber auch die organische Welt hat tätige Mithelfer entsandt. Tiere und Pflanzen, das einzelne Individuum, klein, schwach und unbedeutend, haben, zu gewaltigen Heeren vereint, Erstaunliches hervorgebracht. Viele der himmelhohen Kalkwände, die der Reisende in den Alpen erstaunten Auges bewundert, verdanken ihr Dasein der Tätigkeit gewisser niedriger, einzelliger Pflanzen, der sogenannten Schlauchalgen. Von tierischen Bauwerken sind die Korallenriffe allgemein bekannt. Auch Schwämme, Moostierchen, Muscheln, Schnecken und endlich ganz primitive Lebewesen, die Foraminiferen und Radiolarien, haben in stillem, durch Aonen fortgesetztem Wirken ganze Gebirge aufgebaut.

Indessen machten sich alle diese organi-

schen Kräfte erst in zweiter Linie geltend, gleichsam in höheren Stockwerken des großen Monumentalbaus, und so großartig uns ihre Werke erscheinen, verschwinden sie doch fast gegenüber dem gigantischen Gefüge der Grundmauern, das die vulkanischen Kräfte in der Urzeit der Erde schufen. Und wenn wir uns einmal entschlossen haben, unser Haus gründlich kennen zu lernen, so wird es recht und billig sein, mit den Grundmauern zu beginnen. Daß sie aus einem recht festen, dauerhaften Material aufgeführt sind, dürfen wir von vornherein erwarten. In der Tat hat sich herausgestellt, daß sie zur Hauptsache aus Granit bestehen.

Aufbau und Entstehung der Granite.

Was ist Granit? Von Kunstbauten her kennt wohl jedermann das prächtige Gestein, und wer die deutschen Mittelgebirge durchwandert, hat auch mannigfache Gelegenheit, es in der Natur zu beobachten. Im Schwarzwald wie in den Vogesen, im Fichtel-, Erz- und Riesengebirge pilgert mancher Tourist stundenlang über breite, flachgewölbte Granitrücken; an interessanten Punkten bewundert er steinerne Meere, Riesenburgen, Felslabyrinthe, pittoreske Zinnen und Säulen, merkwürdige, aus übereinandergeschichteten Platten aufgebaute Türme, alles Verwitterungsformen des Granites, deren interessante Entstehung uns später beschäftigen wird.

Vor mir auf dem Schreibtisch liegt ein Stück Granit. Ein schönes, regelrecht geformtes „Handstück", wie es der Sammler schlagen soll, flach, von rechteckigen Umrissen, mit frischen Bruchflächen ringsum. Es stammt aus den Vogesen, von Altweier, dem höchstgelegenen Dorf des Elsaß, das in den letzten zwanzig Jahren ein vielbesuchter Luftkurort geworden ist. Von Altweier wandert man nur wenige Stunden bis zur französischen Grenze, aber schon diesseits spricht die eingeborene Bevölkerung ein eigenartiges Patois, und da mag es als heiterer Zufall erscheinen, daß unser Granit sehr ausgesprochen die deutschen Farben zeigt. Schwarz-weiß-rot ist sein Kleid, schwarz der Glimmer, weiß oder wenigstens hellgrau der Quarz, rot der vorherrschende Feldspat. Nur dadurch unterscheidet sich der Granit Altweiers von den deutschen Reichsfarben, daß in ihm das Rot die erste Rolle spielt.

Bewegt man das bunte Gestein, dem Licht zugewendet, langsam hin und her, so glänzen an zahlreichen Stellen die ebenen Spaltflächen des roten Feldspats gleich kleinen Spiegelscheiben.*) Sie gehören lauter Kristallen an, die freilich sehr unvollkommen ausgebildet sind, weil sie sich erst abschieden, als das Gestein schon halb erstarrt war, daher es ihnen am nötigen Platz zur freien Entwicklung ihrer Formen mangelte. Wo sie ausnahmsweise (in kleinen Lücken des Gesteins) genügenden Raum vorfanden, haben sie gewöhnlich die Gestalt dicker Tafeln oder kurzer Säulen angenommen.

Wichtiger als Ausbildung und Kristallform ist für den Geologen die chemische Zusammensetzung der Mineralien. Daß die Feldspate zu den kieselsauren Salzen oder Silikaten gehören, dürfte jedem naturwissenschaftlich Gebildeten bekannt sein. Je nach den Metalloxyden, die mit der Kieselsäure in Verbindung stehen, unterscheidet man zwei Gruppen der Feldspate. Die einen, die Alkalifeldspate (Orthoklas u. a.), enthalten beträchtliche Mengen Kali oder Natron, die anderen, gewöhnlich mit dem Fremdnamen Plagioklase bezeichnet, führen zwar auch Alkali, aber das Eigenartige an ihnen ist ihr Kalkgehalt. Gemeinsam beiden Gruppen ist, außer der Kieselsäure, ein reichlicher Bestand an Tonerde.

Was nun die rote Farbe des Kalifeldspats betrifft, so darf man ja nicht glauben, daß sie ein ständiges Kennzeichen jenes Minerals sei. Sie ist ihm gar nicht eigentümlich, vielmehr durch eine fremde, sehr fein verteilte Substanz, wahrscheinlich eine Eisenverbindung, bedingt. An deren Stelle können andere Stoffe treten und eine grüne, blaugraue oder violette Färbung des Feldspats und mit ihm des ganzen Gesteins hervorrufen. Grün ist z. B. der Albulagranit in Graubünden (auch Juliergranit genannt), durch dessen Massiv der große Albulatunnel der Rhätischen Bahn gebrochen ist. Blauer Granit kommt im Fichtelgebirge vor, wo er in großen Steinbrüchen abgebaut wird. Oder färbende Stoffe können gänzlich fehlen, und dann wird Weiß die herrschende Farbe, wie es z. B. beim Brockengranit der Fall ist.

Übrigens entdeckt man bei genauem Hinsehen auch in unserem Elsässer Granit weiße Spiegel-

*) Man verschaffe sich ein Stück Granit (es braucht gerade kein roter zu sein) und versuche, an Hand der folgenden Beschreibung die einzelnen Gemengteile zu erkennen.

flächen, obschon sie an Zahl gegenüber den roten fast verschwinden. Die gehören einem Kalkfeldspat (Plagioklas) an.

Viel deutlicher tritt der Quarz hervor: lichtgraue, unebene Körner, die keine Spur des spiegelnden Glasglanzes der Feldspatkristalle zeigen, vielmehr aussehen, als seien sie mit einer dünnen Fettschicht überzogen. Mit der Lupe erkennt man leicht den eigentümlichen, muscheligen Bruch des Minerals. Quarz ist reine, chemisch freie Kieselsäure.

Was aber in unserem Granit hauptsächlich glänzt und leuchtet, gleich zahllosen im Gestein versprengten Silberflittern, ist weder Quarz noch Feldspat, sondern ein lichter Glimmer, der sogenannte Kaliglimmer oder Muskovit. Die technische Verwendung dieses Minerals dürfte allgemein bekannt sein. Dank seiner Eigenschaft, in dünnen Tafeln zu spalten, die fast so durchsichtig wie Glas, dabei aber ungemein widerstandsfähig gegen Feuer und Hitze sind, wird Kaliglimmer zu Scheiben an Laternen und Dauerbrandöfen, zu Schutzbrillen für Feuerarbeiter und ähnlichen Zwecken verarbeitet. Man hört ihn öfters „Marienglas" nennen, aber Marienglas ist in Wirklichkeit blätteriger Gips, zwar ebenso durchsichtig, doch bei weitem nicht so feuerbeständig wie Kaliglimmer.

Unter den silberglänzenden Schüppchen bemerkt man ziemlich viele, die in Form hübsch sechsseitig umgrenzter Täfelchen ausgebildet sind. Dies ist die Gestalt, in der alle Glimmer zu kristallisieren pflegen. Man findet sie leicht wieder an dem schwarzen Zwillingsbruder des Muskovits, dem Magnesiaglimmer oder Biotit. Dieser bildet den dunklen Bestandteil der meisten Granite und unterscheidet sich, abgesehen von der Farbe, auch durch seine chemische Zusammensetzung erheblich vom Muskovit. Hier stellen sich gewisse Schwierigkeiten ein, insofern sich die Bezeichnungen „Kali"- und „Magnesiaglimmer" als ganz unzureichend erweisen. Auch der Biotit enthält Kali, außerdem viel Eisen und Magnesia, zwei Grundstoffe, die dem Muskovit nahezu ganz fehlen. Andererseits gibt es lichte Magnesiaglimmer, die ganz wie Muskovit aussehen (Phlogopit). Am einfachsten ist es, sich zu merken, daß die Glimmer im allgemeinen kieselsaure Tonerdeverbindungen sind, die stets Alkalien, zum Teil auch beträchtliche Mengen Magnesia und Eisen enthalten.

Um zusammenzufassen: Granit ist ein aus verschiedenen Mineralien zusammengesetztes Gestein und besteht in der Hauptsache aus Quarz, zweierlei Feldspat und zweierlei Glimmer. (Von einigen anderen untergeordneten Gemengteilen wird bei späterer Gelegenheit die Rede sein.) Quarz und der oft rote Kalifeldspat herrschen vor. Doch ist hier eine Einschränkung vonnöten: vielen Graniten fehlt der lichte Kaliglimmer, sie enthalten nur dunklen Biotit. Der weiße Granit des Brockens im Harz ist ein typisches Beispiel dieser Gruppe.

Eine dritte Gruppe der Granite führt überhaupt nur wenig Glimmer, dessen Stelle ein anderes „farbiges" Mineral, die gemeine Hornblende, vertritt. Dies ist gleichfalls ein kompliziert zusammengesetztes Silikat, das Kalk, Magnesia, Eisenoxyde, Tonerde und Alkalien enthält. Die Hornblende kristallisiert in Form kleiner sechsseitiger Säulen oder Prismen, die aber in den Graniten nur ausnahmsweise schön ausgebildet sind, meistens gewahrt man nur schwarze Körner von unregelmäßiger Gestalt. Die Farbe ist kein reines Schwarz, eher ein tiefdunkles Grün, zuweilen auch (in Graniten selten) ein fast schwarzes Braun. Bei der basaltischen Hornblende, einem wichtigen Gemengteil der Basalte, herrscht umgekehrt tiefbraune Färbung vor.

Die gemeine Hornblende ist ein ziemlich nutzloses Mineral, doch sei beiläufig erwähnt, daß der Hornblendefamilie auch einige technisch wertvolle Mineralien angehören, vor allem der Asbest, dessen Verwendung allgemein bekannt ist. In vorgeschichtlicher Zeit war der Nephrit ein begehrter, im Gebrauch fast unverwüstlicher Stein, den man zu Streitäxten, Prunkwaffen und Schmuckwaffen verarbeitete; dies geschieht bei den Chinesen und auf Neuseeland noch heutzutage. Auch das Tigerauge, jener beliebte, aus Südafrika stammende Schmuckstein, besteht aus einem hornblendeartigem Mineral, das allerdings stark zersetzt und von Quarzmasse durchtränkt ist. —

Um das innere Gefüge und den feineren Aufbau eines Gesteins zu erforschen, muß man das Mikroskop zu Hilfe nehmen. Wie fertigt man nun von Steinen mikroskopische Präparate an? Vom Tier- oder Pflanzenkörper lassen sich bekanntlich mittels des Mikroroms außerordentlich dünne Schnitte herstellen, an denen man die feinsten Einzelheiten der organischen Struktur erkennen kann; bei den Gesteinen ist dies ihrer Härte wegen unmöglich, aber auch gar nicht nötig, weil sie einen viel gröberen Bau besitzen als die organische Substanz. Man wendet daher bei ihnen die Schleifmethode an, d. h.

man schleift mit Schmirgel einen kleinen Splitter so lange ab, bis er vollkommen durchsichtig ist. Ein regelrechter „Dünnschliff" soll, über seine Druckschrift gelegt, diese noch gut erkennen lassen, was in der Regel bei einer Dicke von 0,03 bis höchstens 0,05 Millimeter erreicht ist. An so dünnen Scheibchen lassen sich alle Einzelheiten des Gefüges, alle winzigen, dem bloßen Auge nicht sichtbaren Gemengteile und Einschlüsse bequem unterscheiden und studieren. Die Dünnschliffe werden mit erwärmtem Kanadabalsam (einem durchsichtigen, farblosen Harz) auf kleinen Glasscheiben, den Objektträgern, festgekittet und mit feinen Deckgläschen bedeckt. Beim Erkalten wird der Kanadabalsam hart, ohne seine Durchsichtigkeit einzubüßen, so daß sich die Präparate in Kästen aufbewahren lassen. Die Anfertigung eines tadellosen Dünnschliffs erfordert viel Zeit und Geschicklichkeit; deshalb ist es jetzt allgemein üblich, sie in mechanischen Werkstätten herstellen zu lassen, die für solche Zwecke besonders eingerichtet sind.

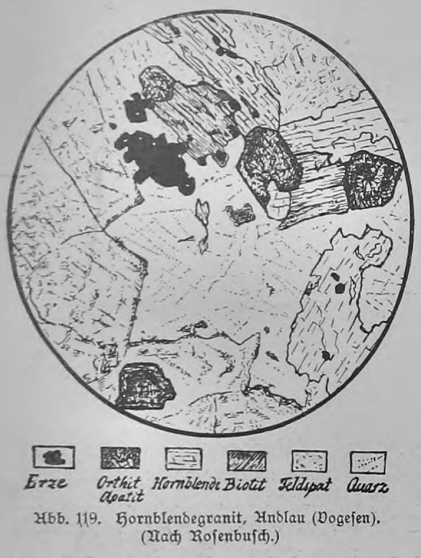


Abb. 119. Hornblendegranit, Andlau (Vogesen). (Nach Rosenbusch.)

Abb. 119 zeigt uns den Dünnschliff eines Granits, — es ist ein Hornblendegranit aus den Vogesen — bei 15facher Vergrößerung. (Will man nur eine Übersicht über die Gemengteile bekommen, so genügt diese schwache Vergrößerung vollkommen.) Der helle, sternartig ausgezackte Fleck in der Mitte wird vom Quarz gebildet, die feinpunktierten Linien, die ihn nach allen Richtungen durchziehen, sind winzige Flüssigkeitseinschlüsse, über deren Wesen wir uns bei späterer Gelegenheit unterhalten wollen. Von links ragen gradlinig begrenzte Feldspatkristalle in den Quarzfluß hinein, der sich ihren Kristallformen vollkommen angepaßt hat, woraus man erkennt, daß Quarz der zuletzt erstarrte Gemengteil sein muß, der alle noch offenen Lücken des halbverfestigten Gesteins ausgefüllt hat. Auf der rechten Seite des Präparats bemerkt man schlecht ausgebildete Hornblendekristalle (kenntlich an den hakenförmigen Spaltrissen) und daneben etwas Biotit (faserig). Die sogenannten Nebengemengteile: der phosphorhaltige Apatit, der an seltenen Erdmetallen reiche Orthit, die verschiedenen Eisenerze seien beiläufig erwähnt.

Während Quarz, Feldspat und Kaliglimmer im Dünnschliff farblos erscheinen, heben sich Hornblende und Magnesiaglimmer durch lebhaft grüne oder braune Färbung auffällig von der übrigen Gesteinmasse ab. Beobachtet man im polarisierten (d. h. nur nach einer Richtung schwingenden) Licht, so wechseln die bunten Gemengteile beim Drehen des Präparats ihre Färbung, zeigen bald hellere, bald dunklere Töne oder gar einen anderen Farbencharakter; so erscheint z. B. die sonst saftgrüne Hornblende in einer gewissen Stellung hellgelb. Die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung ist, daß die doppelbrechenden Kristalle das Licht nach verschiedenen Richtungen hin ungleich absorbieren (d. h. verschlucken). Ein einfach brechender Kristall, z. B. roter Granat, läßt nach allen Richtungen nur rote Strahlen durch, die anders gefärbten verschluckt er. Hornblende aber ist doppelbrechend, sie läßt in der einen Richtung nur grüne, in einer anderen nur gelbe Strahlen passieren. Beim Drehen des Dünnschliffs gelangen nun diese den verschiedenen Schwingungsrichtungen entsprechenden Farben nacheinander in das Auge des Beobachters.

Soviel über Mineralbestand und Struktur der Granite. Wie sind nun diese prächtig gebauten, aus mannigfachen Kristallen kunstreich zusammengefügten Felsarten entstanden?

Granite, haben wir gesehen, bauen die Grundmauern der festen Erdrinde auf. Da liegt von vornherein der Gedanke nahe, daß es „Feuergesteine" sind, aus den schmelzflüssigen Massen des glühenden Planetenballs durch Abkühlung und schließliche Verfestigung entstanden. Wir haben dies, sooft in den vorhergehenden Abschnitten vom Granit die Rede war, auch immer stillschweigend vorausgesetzt. Aber wie kommt man eigentlich zu solcher Annahme? Daß sie nicht von jeher feststand, daß viele ältere Geologen den Granit für ein in der frühesten Urzeit

unter völlig anderen Verhältnissen gebildetes Sediment hielten, wurde schon in der Einleitung dieses Buches erwähnt. Wo stecken nun die Beweise für die heutzutage allgemein anerkannte Lehre vom feuerflüssigen Ursprung des Granits?

Beweise durch den Augenschein können es nicht sein. Wenn in der gegenwärtigen Erdepoche sich noch Granite bilden (wir wissen, daß es in der letztvergangenen, der Tertiärzeit, noch geschah), so vollzieht sich dieser Vorgang zweifellos in Tiefen, die dem Menschen ein für allemal verschlossen sind. Niemals wird, aller Voraussicht nach, ein Geologe in die Lage kommen, die Kristallisation eines Granits oder anderen Tiefengesteins mit Augen beobachten zu können.

Aber, wird vielleicht der Leser einwenden, etwas Ähnliches kann ich doch leicht zu Gesicht bekommen! Ich fahre einfach mit dem Blitzzug nach Neapel und steige dann auf den Vesuv, vorausgesetzt, daß er nicht gerade allzu unruhig ist! Noch glühen die Lavaströme vom letzten Ausbruch und geben mir die beste Gelegenheit, in nächster Nähe die Erstarrung eines Feuergesteins ganz bequem anzusehen und zu studieren.

Ja, wenn nur die Lava des Vesuvs und aller übrigen tätigen Vulkane nicht etwas ganz anderes wäre als Granit! Der Leser möge sich hier des Unterschieds zwischen vulkanischen Tiefen- und Oberflächengesteinen erinnern (vgl. Seite 6). Die Theorie sagt: Jeder Schmelzfluß von bestimmter chemischer Zusammensetzung hat mindestens eine zweifache Entwicklungsmöglichkeit. Entscheidend ist dabei der Umstand, ob er rasch oder allmählich seinen Gehalt an Gasen und Dämpfen verliert, oder, was auf dasselbe herauskommt, ob er schnell oder langsam erkaltet. Wenn nun der Granit wirklich ein vulkanisches Tiefengestein ist, so muß es auch Oberflächengesteine, also Lavaströme, von granitischer Zusammensetzung geben. Wo stecken diese „oberirdischen" Vettern des Granits?

Unter den Laven, die heutzutage den tätigen Vulkanen entquellen, suchen wir sie vergebens. Die sind alle viel zu dunkel, enthalten zuviel Eisen, Kalk und Magnesia und zu wenig Kieselsäure, um der Granitfamilie anzugehören, führen auch dementsprechend manche Mineralien, die im Granit nie vorkommen, wie Olivin, Leuzit, Nephelin. Wohl aber finden wir helle, granitische Lava in Vulkangebieten der Tertiärzeit, so auf den Liparischen Inseln, jener bekannten Gruppe vulkanischer Eilande in der Nähe Siziliens. Nach diesem Vorkommen hat man die granitische Lava Liparit genannt, obwohl sie anderwärts, z. B. in Ungarn und auf der Balkanhalbinsel, weit mächtiger entwickelt auftritt. Das großartigste Liparitgebiet liegt im Nordwesten der Vereinigten Staaten, im sogenannten Central Basin zwischen den Rocky

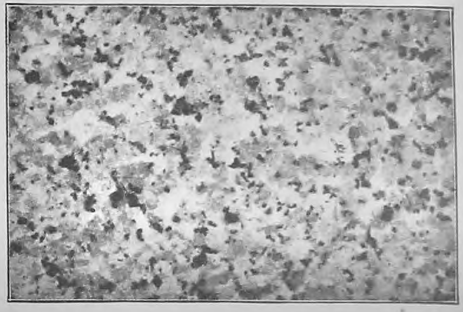


Abb. 120. Granitisches Gefüge.
Granit von Baveno am Lago Maggiore.
(Nach Weinschenk.)

Mountains und Kalifornien. Hier haben zur Tertiärzeit die vulkanischen Kräfte so gewaltige Lavamassen zur Oberfläche befördert, daß die Dicke der übereinanderliegenden Liparitströme an manchen Stellen bis auf 2000 Meter anwächst.

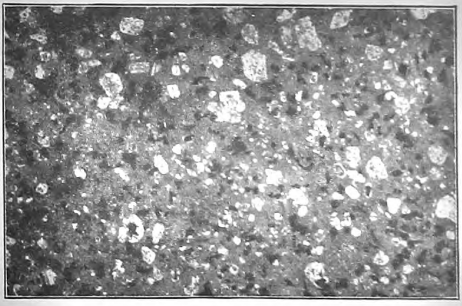


Abb. 121. Porphyrisches Gefüge.
Quarzporphyr von Rochlitz (Sachsen).
(Nach Weinschenk.)

Wer einen Liparit betrachtet, wird sich zunächst nur schwer entschließen, an eine nahe Verwandtschaft dieses rauhen, schmutzig-grauen Lavagesteins mit dem Granit zu glauben. Das Gefüge ist ein vollkommen anderes; wohl erkennt man auch im Liparit zahlreiche kleine, glänzende Kristalle von Quarz und Feldspat, dazu vereinzelte schwarze Glimmertäfel-

chen, aber sie schließen sich nicht, wie bei den Graniten, zu einem prächtig-bunten Körnermosaik zusammen, sondern liegen verstreut in einer dichten, matten Gesteinmasse, die gleichsam den Untergrund des Ganzen bildet. Man nennt dies Gefüge porphyrisch, im Gegensatz zum körnigen Bau der Tiefengesteine; die großen deutlich aus der „Grundmasse" hervortretenden Kristalle heißen „Einsprenglinge". Die nebenstehenden Abbildungen werden den Unterschied des körnigen und porphyrischen Gefüges besser

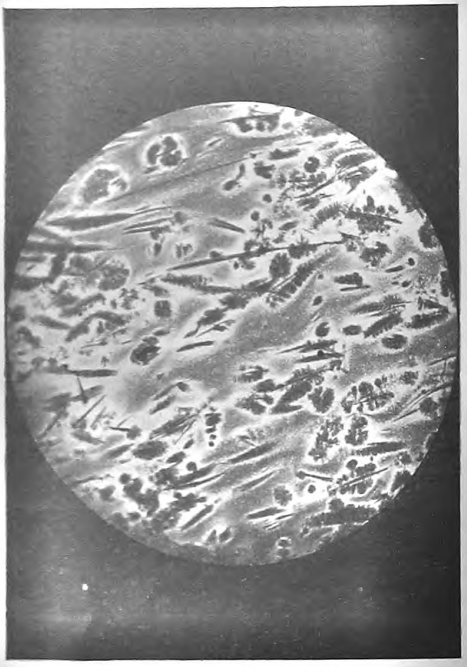


Abb. 122. Dünnschliff von Pechstein (Insel Arran, Schottland) mit zahlreichen, im Glasfluß schwimmenden Kristallskeletten von Augit.

veranschaulichen, als die bloße Beschreibung vermag.

Wie aber soll man sich die Entstehung der porphyrischen Gesteine oder Porphyre denken? So viel ist klar, daß sie nicht aus einem Guß gebildet sein können, sondern eine längere Entwicklung durchgemacht haben müssen. Kühlt sich ein Schmelzfluß sehr rasch ab, so büßt er die Fähigkeit zur kristallinischen Ausbildung ein und erstarrt durch und durch zu einer glasigen Masse. Vollkommen glasige Felsarten sind indes verhältnismäßig selten; zu ihnen gehören der samtschwarze, lebhaft glänzende Obsidian, die bunten, vielfach zur Glasfabrikation verwendeten Pechsteine (Abb. 122), der schaumige, poröse Bimsstein und einige andere. In den meisten Fällen erfolgt die Erkaltung immer noch langsam genug, um wenigstens eine beschränkte Kristallbildung zu ermöglichen. Vor dem Ausbruch, vor dem Freiwerden der Gase scheiden Kristalle ab, die als Einsprenglinge in dem Rest des Schmelzflusses, in der Mutterlauge, schwimmen. Kommt es dann zum Ausströmen der Lava und infolgedessen zu beschleunigter Erkaltung, so erstarrt sie zu Glas und umschließt als Grundmasse die weit älteren, schon im Erdinnern gebildeten Kristalle. Gewöhnlich ist die Entwicklung auch damit noch nicht abgeschlossen, die Grundmasse verändert sich weiter, verliert ihre glasige Beschaffenheit und wandelt sich in ein höchst feinkörniges Haufwerk winziger Quarz- und Feldspatkörnchen um. Es ist dies ein ähnlicher Vorgang, wie er sich beim „Blindwerden" des Fensterglases vollzieht.

Was wir oben von Liparitvorkommen anführten, entstammt durchweg tertiären Vulkanen. Auf deutschem Boden kennt man keinen so jungen Liparit. Wir wissen aber, daß auch die Permzeit eine Periode großartiger Ausbrüche war, und auf sie gehen jene mächtigen Liparitströme zurück, die noch heute im Königreich Sachsen (Gegend von Chemnitz, Zwickau, Rochlitz usw.) und im Thüringer Walde (bei Ilmenau, Friedrichsroda, Oberhof) bedeutende Flächenräume bedecken. Ihres festen und harten Gefüges wegen ist diese Felsart ein geschätzter Baustein und wird in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut, aus denen sich der Tourist im Thüringer Walde leicht ein charakteristisches Stück mitnehmen kann.

Allerdings muß er wissen, daß dieser uralte Liparit ganz anders aussieht als der junge, tertiäre, wie er z. B. auf Lipari vorkommt. Der Unterschied ist so bedeutend, daß man früher die alten Liparite für wesentlich andere Gesteine hielt und sie unter dem Namen „Quarzporphyr" von den jüngeren trennte. Aber Quarzporphyr und Liparit sind chemisch wie mineralogisch ganz dasselbe, nur im Alter, besser gesagt: im Erhaltungszustand weichen sie voneinander ab. Quarzporphyr ist das unfrische, mehr oder weniger zersetzte, Liparit das frische Gestein.

Wer je über den Brenner nach Bozen gereist ist, erinnert sich von der letzten Stunde der Fahrt wohl hauptsächlich an zweierlei: brausendes Wasser und unablässig sich folgende Tunnels. In einem fort saust der Zug, hart am wilden Eisack, durch enge Schluchten mit him-

melhohen Wänden, von deren Firsten hie und da ein weißes Kirchlein oder eine alte Ritterburg herabgrüßen. Vielleicht schlägt der Reisende sein „Handbuch" auf und liest, daß er jetzt durch den Kuntersweg dahineilt, und daß dieser sonderbare Name auf den Bozener Bürger Heinrich Kunter zurückgeführt wird, der im 14. Jahrhundert die erste Straße durch die unheimlichen Klüfte gebaut haben soll. Nun, der Kuntersweg ist eine Quarzporphyrschlucht, und zwar die großartigste Europas. Wer von Bozen Ausflüge in die Umgebung macht, nach Klobenstein, ins wildromantische Sarntal, vor allem ins Eggental mit seinen senkrechten, wie riesige Platten dastehenden Wänden (Abb. 124),

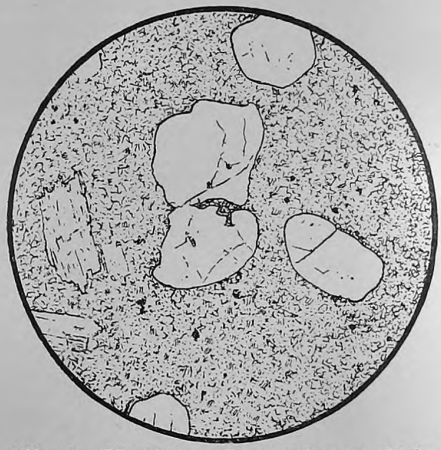


Abb. 123. Dünnschliff des Quarzporphyrs von Münster am Stein. (Nach Rosenbusch.)

findet überall typischen Quarzporphyr, den er leicht an dem eigentümlichen Gefüge erkennt. Aus der dichten, rötlich-grauen Grundmasse treten zahlreiche Kristalle von mattem, ziegelrotem Feldspat und fettglänzendem, grauem Quarz hervor. Die meisten Varietäten des Gesteins spalten unschwer in regelmäßige Platten, eine Erscheinung, die schon Goethe auf seiner Reise nach Italien aufgefallen ist.

Die Bozener Porphyrmassen bedecken an 20 Quadratmeilen Land und sind an vielen Stellen sehr mächtig, wie eine Betrachtung der 6—800 Meter hohen Wände der Eisackschlucht lehrt. Diese Mächtigkeit erscheint um so erstaunlicher, als sie zweifellos nur der Bruchteil einer früher viel bedeutenderen ist, denn Wasser und Eis müssen seit der Trockenlegung der Alpen das Porphyrplateau schon um ein Beträchtliches erniedrigt haben. Man sollte nun erwarten, daß der Porphyr in den tieferen Lagen, wo ja die Erstarrung weit langsamer erfolgen mußte, allmählich in das entsprechende Tiefengestein, also in Granit, überginge. Das ist nicht der Fall, selbst am Grund der tiefsten Täler und Schluchten steht überall noch typischer Quarzporphyr an. Aber daraus darf man nicht schließen, daß die ganze Theorie falsch sei. Höchstwahrscheinlich besteht die Bozener Porphyrmasse aus einer ganzen Anzahl übereinander geflossener Lava-

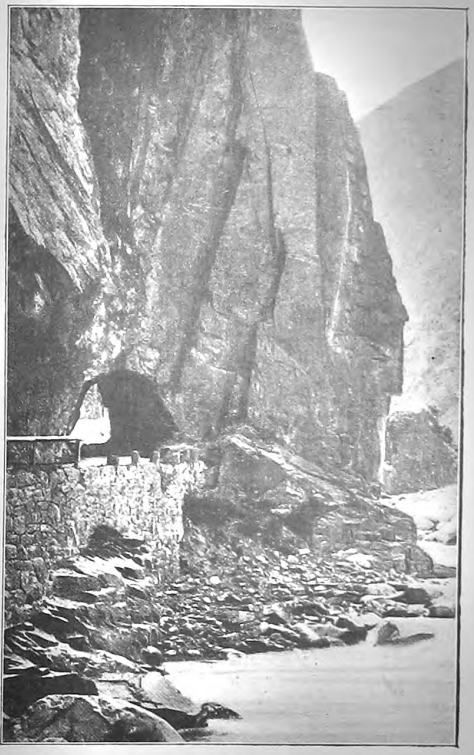


Abb. 124. Quarzporphyrwände im Eggental bei Bozen.

ströme, die in größeren Zwischenräumen aus dem Erdinnern hervorgequollen sind. Selbst die tiefsten Lagen erstarrten also ursprünglich an der Erdoberfläche (oder auf dem Meeresgrunde, was auf dasselbe herauskommt), und erst durch wiederholte Ergüsse bekam das Massiv die ungeheure Ausdehnung und Mächtigkeit, die wir in ihren Trümmern noch heute bewundern.

Um Granit und Porphyr in innigem Zusammenhang kennen zu lernen, muß man andere Gegenden aufsuchen. Bleiben wir zunächst bei den Alpen, so kommt am Luganer See ein roter Granit vor, der in seinen oberflächlichen Teilen ganz, wie die Theorie es verlangt, in

Quarzporphyr übergeht. Hier haben wir also in einem und demselben Bergmassiv unten das Tiefengestein, oben das entsprechende Oberflächengestein. Noch interessanter ist der Bodegang im Harz, ein Porphyr, der zwischen zwei Granitmassiven, dem Brocken und Ramberg, eine Art Brücke bildet. Das Gestein des Bodegangs ist in der Mitte (also in den inneren, tieferen Lagen) mehr granitisch, dagegen am Rande wie ein typischer Quarzporphyr ausgebildet. An dem viel begangenen Touristenwege von Thale nach Treseburg kann jeder, den es interessiert, die mannigfachen Abänderungen des Gesteins studieren.

Eine organische Verknüpfung des Granits mit ziemlich jungen Laven findet sich in den südamerikanischen Anden, wo tertiäre Liparite in den tiefsten, der Forschung zugänglichen Lagen als echte Granite entwickelt sind. Immerhin: wenn keine anderen Beweise für die vulkanische Natur des Granits existierten, so wäre das Vorkommen solcher Übergänge an sich keineswegs entscheidend. Denn auch ganz ungleichartige Gesteine sind in der Natur manchmal zu einem organischen Ganzen verbunden. Gerade der Bozener Porphyr liefert hierfür ein Beispiel; über ihm liegt eine mächtige Decke des roten „Grödener Sandsteins"; an der Grenze aber trifft man Gesteinschichten, die halb Porphyr, halb Sandstein sind. Niemandem wird es einfallen, auf Grund solchen Befundes den Sandstein für eine vulkanische Felsart zu erklären, — und doch kann der Laie fragen: Warum lehnt man hier den Beweis ab, während er anderwärts gelten soll? Die Antwort lautet: Wenn der Grödener Sandstein auch kein Lavagestein ist, so hat er doch in gewissem Sinne einen vulkanischen Ursprung. Als die — aller Wahrscheinlichkeit nach unterseeischen — Ausbrüche erfolgten, wurden natürlich auch bedeutende Massen von Asche, Sand und Steinchen ausgeschleudert, die zum größten Teil in das Meer zurückfielen und ausgedehnte Tuffschichten bildeten. Diese ziemlich lockeren Massen wurden häufig von der Brandung wieder aufgewühlt und mit Sand und Schlamm vermengt, den die Wogen von der Porphyrküste abgewaschen und ins Meer geschwemmt hatten. So entstanden Ablagerungen, die halb den Charakter vulkanischer Tuffe, halb den von tonigen Sandsteinen tragen. Nach oben hin verschwindet natürlich nach und nach das beigemengte Tuffmaterial, und die Schichtenfolge schließt mit reinen, aus der Zerstörung der Porphyrfelsen hervorgegangenen Sandsteinen ab.

Fragen wir nun nach entscheidenden Beweisen für den feuerflüssigen Ursprung des Granits, so kommen zunächst seine Kristallisationsverhältnisse in Betracht. Bei allen Tiefengesteinen ist eine zeitliche Reihenfolge der Kristallisation der einzelnen Gemengteile sehr gut erkennbar. Im Granit haben sich zu allererst gewisse winzige Kriställchen abgeschieden, die den Mineralien Magneteisen, Apatit und Zirkon angehören (vgl. Abb. 119). Sie finden sich oft als Einschlüsse im dunklen Glimmer, sind also unbedingt älter als dieser. Ihre Menge ist gering, aber als älteste Bestandteile erwecken sie doch ein gewisses Interesse. Die zweite Stelle in der Altersfolge nimmt der Glimmer ein, wie aus der besseren Ausbildung seiner Kristallformen gegenüber dem

Abb. 125. Dünnschliff eines Sandsteins als Beispiel des Gefüges der Trümmergesteine.

Feldspat hervorgeht. Von den Feldspäten sind im allgemeinen die kalkfreien Glieder, z. B. der Orthoklas, später erstarrt als die Kalkfeldspate (Plagioklase), doch sind hier die Unterschiede nicht bedeutend. Unverkennbar der jüngste Gemengteil aber ist der Quarz; ohne jede Andeutung selbständiger Formentwicklung füllt er wie ein Kitt alle Lücken zwischen den übrigen Mineralkörnern aus. In Abb. 119, die den körnigen Aufbau eines Granits veranschaulicht, tritt diese Rolle des Quarzes sehr deutlich hervor.

Es ist klar, daß eine so streng innegehaltene zeitliche Regelmäßigkeit der Kristallisation sich unmöglich bei einem Gestein herausbilden kann, das, wie der vorerwähnte Grödener Sandstein, aus der Zertrümmerung eines anderen hervorgeht. Die Bildung der „Trümmergesteine" erfolgt hauptsächlich unter dem Einfluß der Schwerkraft: der grobe Schotter und Kies lagert sich zuerst ab, dann der feinere Sand,

endlich die allerfeinsten schlammigen Teilchen. In diesen auf rein mechanischem Wege entstandenen Absätzen zeigt kein Gemengteil ständige Kristallformen, vielmehr bestehen sie durch und durch aus eckigen oder abgerollten Mineralbruchstücken, die ein schlammiges Bindemittel untereinander verkittet. Wie ein solches Gestein unter dem Mikroskop aussieht, soll Abbildung 125 veranschaulichen.

Damit ist bewiesen, daß der Granit kein Trümmergestein sein kann, aber mehr auch nicht. Noch immer bleibt die Frage offen, ob er nicht doch auf wässerigem Wege, etwa durch Kristallisation aus heißer, gesättigter Lösung, abgeschieden sein könnte. Das körnige Gefüge würde dieser Annahme nicht widersprechen. Zahlreiche Erzgänge, deren Mineralbestandteile ebenfalls eine zeitliche Reihenfolge der Kristallisation zeigen, verdanken zweifellos ihre Entstehung heißen Gewässern. Aus Lösungen abgeschieden haben sich auch gewisse Schichtgesteine mit ausgesprochen kristallinisch-

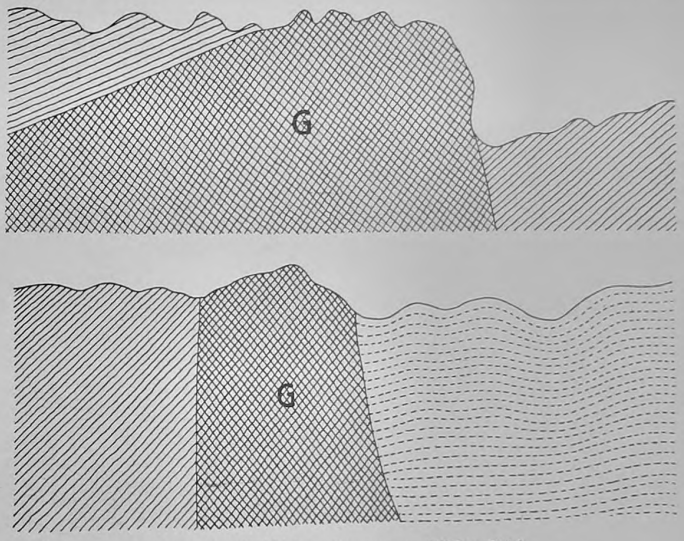


Abb. 126. Verschiedene Formen granitischer Stöcke.

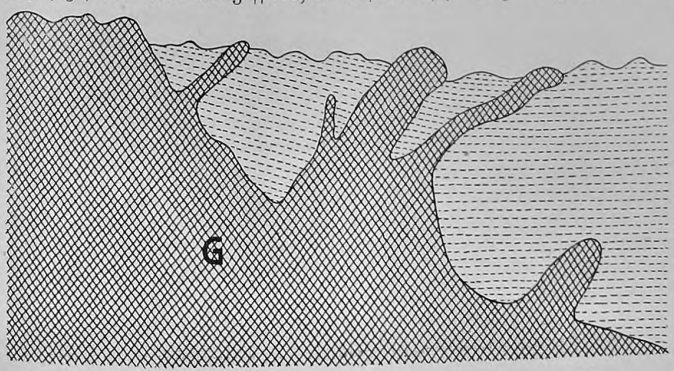


Abb. 127. Granitmassiv mit abzweigenden Gängen.

körnigem Gefüge, wie Steinsalz und Anhydrit (schwefelsaurer Kalk, der durch Wasseraufnahme in Gips übergeht). Unsinnig wäre es, ihnen vulkanische Bildungsweise zuzuschreiben. Wo liegt nun das unterscheidende Merkmal?

Die Lagerung der Tiefengesteine, die Art ihres Auftretens zwischen den geschichteten Felsarten, liefert einen gewissen, aber wieder durchaus keinen sicheren Anhalt. Tiefengesteine zeigen zumeist „durchgreifende" Lagerung, d. h. sie ruhen nicht auf anderen Gesteinmassen, sondern setzen durch diese hindurch bis in unzugängliche Tiefen.

Granitmassive erscheinen in zwei Hauptformen: als Stöcke und als Lakkolithe. Letztere haben wir schon kennen gelernt (S. 93), es sind breitgewölbte Kuppeln, auf allen Seiten, also auch unten, von Schiefern und Schichtgesteinen umschlossen, nur der frühere Zuleitungskanal, heute der „Stiel" des Lakkolithen, reicht in die feurige Tiefe hinab. Könnte man das ganze Gebilde, Kuppel und Stiel, aus der Erdkruste herausschälen, so würde es ungefähr die Form eines ungeheuren Pilzes zeigen. Ganz anders die Stöcke, denen vor allem die mächtige Verbreiterung am oberen Ende fehlt (vgl. Abb. 126). Manchmal scheinen sie im ganzen nichts anderes zu sein als riesige Kanäle, die aus unbekannter Tiefe bis zur Erdoberfläche durchstoßen, manchmal ist ihre Form flacher, mehr in die Breite

gedehnt. Vermutlich sind die Stöcke, so bedeutend uns auch ihre Dimensionen vorkommen, nur verhältnismäßig kleine Ausläufer der ungleich gewaltigeren, in ewiger Tiefe ruhenden granitischen Herde.

Noch häufiger als in großen Massiven trifft man den Granit in Form von Gängen, dem charakteristischen Typus der „durchgreifenden" Lagerung. Gänge sind ganz flache, plattenförmige Massen, die unter verschiedenen Winkeln die Erdrinde durchsetzen. Sie gelten für ursprüngliche Spalten, die der Lavaschmelzfluß auf seinem Wege nach oben ausgefüllt hat. Daß sie Ausläufer von Granitmassiven sind, wie

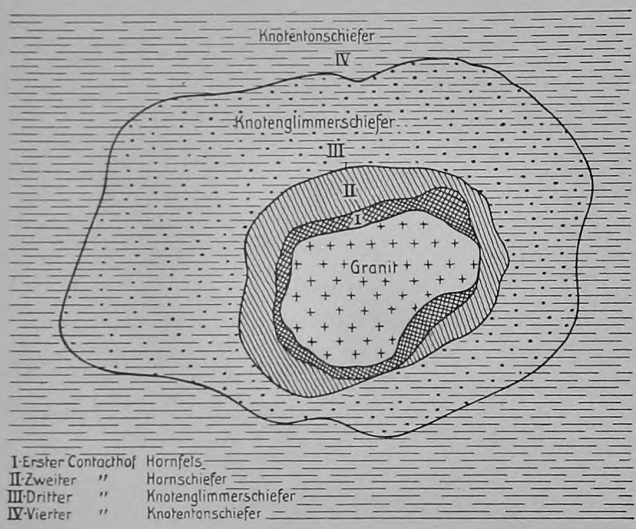


Abb. 128. Schematische Darstellung eines granitischen Kontakthofs.

Abb. 127 schematisch darstellt, hat man in vielen Fällen direkt beobachtet.

Alle diese Lagerungsformen sprechen zweifellos deutlich für vulkanischen Ursprung des Granits. Indessen könnte ein sehr skeptisch veranlagter Beobachter geltend machen, daß oft auch Schichtgesteine (Salz, Gips, Kalkstein, Sandstein) als Stöcke, bisweilen sogar in Gangform auftreten; ja beim körnigen Kalk oder Marmor ist die Lagerung oft zum Verwechseln der eines vulkanischen Gesteins ähnlich. Glücklicherweise kennen wir eine Erscheinung, die hier die letzten Zweifel beseitigt, das ist die Kontaktmetamorphose der Granite.

Das Wort bedeutet „Umwandlung durch Berührung" und soll eine besondere Art der Gesteinmetamorphose kennzeichnen, deren Wirkungen auf die vom Granit unmittelbar durchbrochenen Schichten beschränkt bleiben. Zum besseren Verständnis des Folgenden möge man nachlesen, was auf Seite 85 über Metamorphose im allgemeinen und ihre vulkanischen Ursachen gesagt wurde. Dichte, unansehnliche Kalksteine sind in der Nähe des Granits zu schönen, weißen, oft grobkörnigen Marmoren geworden; in ähnlicher Weise sind die Sandsteine umkristallisiert und in körnige Quarzite verwandelt. Für die Tonschiefer hat man eine ganze Stufenfolge der Metamorphose festgestellt. In unmittelbarer Nähe des Granits sind sie so verändert, daß ein Unkundiger sie gar nicht wiedererkennt. Keine Spur mehr von Schieferung, von der weichen, tonigen Beschaffenheit, — massige harte, sehr kompakte Felsarten, ihres hornartigen Bruchs wegen „Hornfelse" genannt. In etwas größerem Abstand vom Tiefengestein ist die Schieferung noch erhalten („Hornschiefer"), und je weiter man sich nun entfernt, um so geringer werden die Spuren der Metamorphose; an den Grenzen der vulkanischen Einflußsphäre unterscheiden sich die Schiefer nur noch durch eigentümliche Flecken oder Knoten oder durch einen lebhaften Glanz auf den Spaltflächen von gewöhnlichen, nicht umgewandelten Tongesteinen; man bezeichnet sie entsprechend als Knoten-, Fleck- oder Glanzschiefer.

Der gesamte, örtliche Bereich, in dem die Metamorphose noch kenntlich ist, wird ein Kontakthof genannt. Abb. 128 gibt die schematische Darstellung eines solchen. Man erkennt, wie die einzelnen Zonen der umgewandelten Schiefer gleich Schalen den Kern, das Granitmassiv, umgeben. Die Breite der Kontakthöfe schwankt ziemlich stark und übersteigt selten den Betrag von fünf Kilometern.

Ein besonderes Kennzeichen metamorphosierter Gesteine ist die reichliche Neubildung von Mineralien. So entstehen in Kalken: Granat, Spinell, Rubin, Serpentin, Hornblende, Vesuvian, Wollastonit, Quarz, Feldspat und der schon früher erwähnte helle Magnesiaglimmer (Phlogopit). In Hornfelsen bilden sich ebenfalls Feldspat, Granat, Spinell, Korund und verschiedene Glimmer, ferner Andalusit und

borsäurehaltiger Turmalin,*) dessen Neubildung im Gestein ein unzweifelhaftes Kennzeichen vulkanischer Einwirkung ist.

Daß die ganze Metamorphose von dem Tiefengestein ausging, erscheint nach allen Beobachtungen unzweifelhaft. Sie ist nur zu erklären durch die Mitwirkung heißer Dämpfe, die von einem erstarrenden Schmelzherd aus in die umlagernden Schichten, in den „Mantel" des Tiefengesteins, eindrangen und hier all die merkwürdigen Verwandlungen, die Umkristallisation der Gesteine, die Neubildung zahlloser Mineralien, bewirkten. Diese eigenartigen Verhältnisse liefern uns den einzigen, wirklich überzeugenden Beweis für die vulkanische Entstehung des Granits.

Die Erstarrung eines Gesteins aus dem Schmelzfluß könnte man für einen recht einfachen Vorgang halten, der einer besonderen Erläuterung gar nicht bedürfte, aber mancherlei Umstände lassen darauf schließen, daß sich hierbei im Gegenteil sehr verwickelte chemische und physikalische Prozesse abspielen. Dies hängt damit zusammen, daß die Lavamassen des Erdinnern gar keine Schmelzflüsse im gewöhnlichen Sinne sind, wie sie z. B. die Technik in den Hochöfen darstellt, sondern gemischte, schmelzflüssige Lösungen. Das soll bedeuten: ihre Bestandteile, also geschmolzene kieselsaure Verbindungen (Silikate), oft freie Kieselsäure, und die Gase, unter denen ja überhitzter Wasserdampf die Hauptrolle spielt, haben sich gegenseitig ineinander gelöst und bilden nun einen ungeheuer heißen, zähflüssigen Brei, den man gewöhnlich mit dem griechischen Fremdwort Magma, d. h. Teig, bezeichnet. Soweit die herrschende Ansicht, nach der also dem Wasserdampf die Rolle eines Lösungsmittels zufällt.

Eine etwas abweichende Theorie vertritt der schwedische Physiker S. Arrhenius. Gewisse Beobachtungen deuten darauf hin, daß bei sehr hoher Temperatur das Wasser zu einer starken Säure wird. Nach Arrhenius ist es alsdann imstande, die Kieselsäure aus ihren Salzen, den Silikaten, zu vertreiben und selbst deren Stelle einzunehmen. Es wäre dies ein ähnlicher Vorgang, wie wir ihn z. B. beobachten, wenn wir ein Stück kohlensauren Kalkes, also eines Kalksteins, in Salzsäure legen. Die starke Salzsäure vertreibt die schwache Kohlensäure und verbindet sich mit dem Kalk zu Chlorkalzium, während die Kohlensäure unter lebhaftem Brausen entweicht. Entsprechend wäre auch im Magma die Kieselsäure größtenteils frei, das Wasser aber chemisch an die Metalloxyde (Eisen, Kalk, Magnesia, Alkalien usw.) gebunden. Erst wenn durch den vulkanischen Auftrieb die schmelzflüssigen Massen in höhere Regionen der Erdkruste gelangen und sich abkühlen, stellt sich allmählich das umgekehrte Verhältnis her. Die Säurekraft des Wassers nimmt immer mehr ab, die Kieselsäure verdrängt es aus seinen Verbindungen und bildet mit den Metalloxyden kieselsaure Salze, wie wir sie später im erstarrten Gesteine finden. Der frei gewordene Wasserdampf bewirkt im Magma eine starke Spannung, die sich schließlich so steigert, daß der ganze Glutbrei mit ungeheurer Gewalt explodiert. Diese Theorie liefert also zugleich eine neue Erklärung für das Zustandekommen der Vulkanausbrüche.

Mag nun die eine oder andere Anschauung der Wahrheit näher liegen, so viel ist sicher: für die Erstarrung des Magmas gelten ganz andere Gesetze als für einen gewöhnlichen Schmelzfluß. Man sollte erwarten, daß sich zuerst die am schwersten schmelzbaren Mineralien, zuletzt die leicht schmelzbaren abschieden. Aber dem ist nicht so. Entscheidend ist im Magma nicht die Schmelzbarkeit, sondern der Grad der Löslichkeit der einzelnen Bestandteile. Ein Mineral wird dann beginnen zu kristallisieren, wenn es infolge zunehmender Abkühlung in dem Rest des Magmas, in der Mutterlauge, nicht mehr löslich ist. So schmilzt Quarz im Knallgasgebläse, also bei einer Temperatur von etwa 2000 Grad, Biotit und Feldspat aber schon in der Lötrohrflamme. Würde die Reihenfolge der Kristallisation der Skala der Schmelzbarkeit entsprechen, so müßte sich Quarz bei weitem früher ausscheiden als Glimmer und Feldspat. Aus dem Gefüge des Granits erkennen wir jedoch, daß der Vorgang umgekehrt verlaufen sein muß; der schwerst schmelzbare Quarz bildet die letzte, jüngste Ausfüllungsmasse, während Feldspat und namentlich Biotit ihre Kristallisation weit früher begonnen haben.

*) Zur näheren Orientierung über diese und alle anderen in diesem Buch genannten Mineralien empfehlen wir: Sauer, Mineralkunde als Einführung in die Lehre vom Stoff der Erdrinde. Verlag der Franckh'schen Verlagshandlung, Stuttgart.

Verwandlungen der Granite.

Lassen wir jetzt den Granit erstarrt sein und sehen einmal zu, was für Schicksale das fertige Gestein erleiden kann. Die am häufigsten beobachtete Veränderung besteht in der Verwitterung zu Grus und Sand, die entweder als Deckschicht von oft beträchtlicher Dicke auf dem unangegriffenen Kern des Massivs liegen bleibt oder aber von den Gewässern fortgeführt wird und zum Aufbau von Trümmergesteinen Verwendung findet. Diese Vorgänge wollen wir später schildern, vorerst mögen ein paar Metamorphosen ganz anderen Charakters zur Sprache kommen, Metamorphosen, deren Ursache keinesfalls in der atmosphärischen Verwitterung, also einer von oben nach unten wirkenden und fortschreitenden Zersetzung, zu suchen ist, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach in Vorgängen vulkanischen Ursprungs, die als solche naturgemäß in der Richtung von unten nach oben ihre zersetzende Tätigkeit ausüben.

An erster Stelle sei hier die Entstehung der Porzellanerde geschildert. Reine Porzellanerde, als Mineral Kaolin genannt, ist ein saures Tonerdesilikat, schneeweiß, erdig, sehr weich und zerreiblich. Für die Fabrikation des echten Porzellans bildet Kaolin bei weitem den wichtigsten Rohstoff; mit Feldspat und Quarz zusammen wird er zu einem schlammigen Teig zermahlen, aus dem man die mannigfaltigsten Gegenstände formt. Das glänzend weiße Aussehen des Porzellans bekommen sie, wie bekannt, durch mehrmaliges Brennen. Zur Herstellung des feinen Porzellans ist reines Kaolin unentbehrlich, während Steingut, Fayence, Majolika aus unreinem, stark mit Ton versetztem Kaolin angefertigt werden.

Kaolin kann durch Zersetzung verschiedener Feuergesteine entstehen, zumeist ist es aber aus Granit oder Quarzporphyr hervorgegangen. Die einzelnen Gemengteile dieser Felsarten zeigen gegenüber der Kaolinbildung erheblich verschiedene Widerstandsfähigkeit. Am frühesten und schnellsten erliegen der Zersetzung die Kalkfeldspate (Plagioklase), etwas später der Orthoklas, während Quarz und dunkler Glimmer häufig ganz unangegriffen bleiben. Von den untergeordneten Bestandteilen des Granits wird der phosphorhaltige Apatit völlig aufgelöst, eine bemerkenswerte Tatsache, da dieses Mineral sonst fast jeder Umwandlung, namentlich den Einflüssen der atmosphärischen Verwitterung, siegreich widersteht. Die Fruchtbarkeit des Ackerbodens ist zum großen Teil durch seinen Gehalt an Apatit bedingt, dem letzten Rest der im übrigen völlig zerstörten, zur Ackerkrume gewordenen Gesteine.

Halten wir zunächst fest: die Kaolinbildung entzieht den Gesteinen ihren Bestand an Phosphorsäure. Aber damit ist es nicht genug; das gleiche Schicksal erleiden auch noch andere, ebenfalls sehr wichtige Bestandteile. Kaolin ist ein kieselsaures Salz, an dessen Zusammensetzung außer der Tonerde keine Metalloxyde teilnehmen; die Feldspate aber enthalten neben Tonerde beträchtliche Mengen Alkalien, die Plagioklase überdies noch Kalk. Werden nun die Feldspate zu Porzellanerde, so verschwinden Kalk und Alkalien, und derartig umgewandelte Granite besitzen nur noch den verhältnismäßig geringen Kaligehalt, der im Glimmer aufgespeichert ist. In vielen Fällen ist überdies, wie oben angedeutet, auch der Glimmer zerstört.

Daraus ergibt sich, daß die Kaolinbildung ein für das organische Leben recht unheilvoller Vorgang ist. Wo kaolinisierte Gesteine den Untergrund bilden, mangeln dem Boden die wichtigsten, Fruchtbarkeit bedingenden Stoffe: Alkalien und Phosphorsäure. Nur eine spärliche Vegetation kann in solchen Gegenden aufkommen. Es ist demnach ein rechtes Glück, daß die Kaolinbildung keineswegs, wie früher geglaubt wurde und heute noch in manchen Lehrbüchern der Geologie zu lesen steht, eine Folge der gewöhnlichen atmosphärischen Verwitterung ist, — weite Gebiete der Erde müßten dann schon vor langen Zeiten unfruchtbar und unbewohnbar geworden sein.

Im Gegenteil: wo es zur Kaolinbildung kam, blieb sie auf engbegrenzte Räume beschränkt. Selten ist ein Granit oder Quarzporphyr in seiner ganzen Masse zu Porzellanerde geworden, zumeist hat die Zersetzung nur gewisse Stellen ergriffen. Sehr wichtig für die Erklärung des ganzen Vorganges ist, daß die kaolinreichen „Nester" in wagrechter Richtung ziemlich rasch in das normale, unzersetzte Gestein übergehen, dagegen sich nach unten bis in unbekannte Tiefen fortsetzen. Oft sind es geradezu kleine, „durchgreifende" Stöcke, freilich ohne deutliche, scharfe Abgrenzung gegen das umgebende Gestein. Schon diese Art der Lagerung zeigt, daß es sich um keine von oben nach unten fortschreitende Umwandlung handelt, wie die Verwitterung sie bedingen würde; alsdann müßte nach der Tiefe zu ein allmählicher Übergang vom kaolinisierten in das normale Ge-

stein erfolgen. Dergleichen hat man bislang in keinem Kaolinbergwerk beobachtet, im Gegenteil wird mancherorts die Zersetzung desto vollkommener, je tiefer man in die Erde dringt.

Beobachtungen dieser Art waren es, die den Münchener Geologen E. Weinschenk und seinen Schüler H. Rösler-Koburg zu der Überzeugung führten, daß Kaolinbildung in der Hauptsache durch Gase und Dämpfe, vielleicht auch durch überhitzte Lösungen erfolgt, die von vulkanischen Herden der Tiefe ihren Ausgang nehmen.

Andere Gelehrte wollen die Weinschenkschen Schlüsse nicht anerkennen und halten nach wie vor daran fest, daß Kaolin nur durch Verwitterung oder allenfalls noch durch Einwirkung von Moorwasser entstände. Die Streitfrage hat zu einem langwierigen, teilweise höchst erbitterten Federkrieg geführt, der noch immer nicht beendet ist. Soviel mir scheint, besteht die Weinschenksche Theorie zu Recht für die überwiegende Mehrzahl der großen Kaolinlagerstätten, soweit sie sich noch auf ihrer ursprünglichen Lagerstätte befinden.

Kaolin kann nämlich auch als Schichtgestein auftreten. Wenn die Abtragung ein altes kristallinisches Gebirge zerstört, so bleiben auch die etwa darin steckenden Kaolinlager nicht verschont; die Verwitterung lockert sie auf, das fließende Wasser schwemmt sie fort und setzt sie erst an ruhigen Stellen, am Grunde der Seen und langsam fließenden Ströme wieder ab. So entstehen Kaolinsandsteine, Kaolintone usw., in denen die Porzellanerde durch Sand, Schlamm, gewöhnlichen Ton u. a. Sedimentstoffe verunreinigt ist. Trotzdem lassen sich solche Absätze technisch oft mit Nutzen verwerten und werden vielfach in großen Gruben abgebaut, z. B. bei Hirschau in der Oberpfalz. Über die ursprüngliche Bildungsweise des in ihnen enthaltenen Kaolins läßt sich natürlich kein Urteil mehr abgeben.

Die bekanntesten Kaolinlagerstätten Deutschlands liegen in der Nähe von Halle und Meißen, beiderorts innerhalb von Quarzporphyr. Am Eingang des Triebischtales bei Meißen befinden sich die Gebäude der vor 200 Jahren gegründeten königlich sächsischen Porzellanmanufaktur. Wer im Tal weiter aufwärts wandert, findet bald Gelegenheit, den Quarzporphyr in verschiedenen Stadien der Kaolinbildung zu studieren. Während in der Nähe des „Buschbads" das Gestein völlig zersetzt ist, so daß hier das begehrte Material in einer Grube abgebaut wird, läßt sich im großen Steinbruch unterhalb des Dorfes Dobritz sehr schön die beginnende Kaolinbildung beobachten. Der rote Porphyr ist dort von Klüften aus, aus denen die zersetzenden Dämpfe oder Heißwässer vordrangen, weißlich ausgebleicht. Rote, wenig angegriffene Lagen wechseln mit lichten, stark zersetzten, wodurch eine Pseudoschichtung der ganzen Felsmasse zustande kommt.

Durch ähnliche Ursachen wie Kaolin entsteht wahrscheinlich auch der Speckstein, eine Abart des durch seine Weichheit bekannten Minerals Talk. Speckstein ist wie Kaolin ein ziemlich unscheinbares, graues oder grünliches Mineral, bildet aber keine lockeren, erdigen, sondern kompakte Massen, die so weich sind, daß sie sich fettig anfühlen. Weil er sich leicht schneiden, formen und drehen läßt, kann man unschwer Bildwerke, Spielsachen und allerhand kleine Geräte daraus verfertigen, auch zur Fabrikation von Gasbrennern eignet er sich vorzüglich, da er hohe Temperatur verträgt, ohne zu springen oder zu schmelzen. Neuerdings verwendet man den Speckstein auch, in Mischung mit anderen Mineralien, zur Herstellung von Kunststeinen.

In chemischer Hinsicht ist Talk oder Speckstein ein kieselsaures Salz von ähnlicher Konstitution wie Kaolin, nur daß er an Stelle der Tonerde des letzteren die entsprechende Menge Magnesia führt.

Speckstein kann aus allen möglichen Gesteinen und Mineralien hervorgehen, aus Granit so gut wie aus Tonschiefer und Kalk, aus Feldspat ebenso wie aus Quarz, Bitterspat und anderen Mineralien. Zum Granit steht er aber doch in einer besonderen Beziehung; er tritt nämlich mit Vorliebe an der Grenze von Granit und Schichtgesteinen auf, erweist sich also als eine „Kontaktbildung" (S. 134). In den Speckgesteingruben von Göpfersgrün im Fichtelgebirge, dem einzigen wirklich bedeutenden Vorkommen innerhalb Deutschlands, tritt die enge Verbindung von Granit und Speckstein sehr klar und deutlich in Erscheinung.

Göpfersgrün ist ein kleines Dorf, etwa anderthalb Stunden von Wunsiedel. Während im Süden und Westen dieser Stadt ausgedehnte Wälder mit prächtigen Aussichtspunkten, interessanten Felszinnen und Felsenmeeren den Touristen anlocken, dehnt sich in östlicher Richtung eine einförmige, größtenteils von Wald entblößte Hochebene. Auf ihr liegen, an der Grenze von Granit einerseits, Kalkstein und Schiefer andererseits, die Speckgesteingruben. Der Granit ist hier zumeist porphyrisch entwickelt und zeigt große Einsprenglinge von

Feldspat, Quarz und Magnesiaglimmer in feinkörniger Grundmasse.

Interessant ist nun, daß bei der Speckstein-bildung das porphyrische Gefüge erhalten bleibt. Einsprenglinge wie Grundmasse bestehen nicht mehr aus den Gemengteilen des Granits, sie sind zu Speckstein geworden, aber in dem völlig umgewandelten Porphyr sind Form und gegenseitige Abgrenzung von Einsprenglingen und Grundmasse noch deutlich erkennbar. Der Granit ist gewissermaßen aus seinem Hause verdrängt, aber der innere Bau, das Gefüge des Hauses, ist stehengeblieben.

Übrigens zeigt sich eine ganz ähnliche Erscheinung bei den Schiefern in unmittelbarer Nachbarschaft des Granits. Auch die Schiefer sind heute Speckstein, aber die schieferige Be-

Abb. 129. Platte von Teplitzer Quarzporphyr mit parallelen Zwitterbändern. (Nach R. Beck.)

schaffenheit, der Aufbau aus abwechselnd hellen und dunklen Lagen, die Quarzflammen und Quarzadern — all das ist noch vorzüglich zu erkennen. Auch wo ehemals Quarzgänge den Kalk durchsetzten, ist die Gangform noch deutlich erhalten, aber die Gesteinstoffe innerhalb und außerhalb der Gänge, Kieselsäure wie kohlensaurer Kalk, sind gleichmäßig zu Speckstein geworden.

Aus dem Umstand, daß so verschiedenartige Gesteine und Mineralien der Umwandlung in Speckstein anheimfallen, schließen wir, daß es sich hierbei um einen sehr radikalen Zersetzungsvorgang handelt, dessen Wirkungen sich kaum irgendein mineralischer Körper entziehen kann. Als zersetzende Kräfte werden ziemlich allgemein heiße, magnesiareiche Quellen angesehen, die im Gefolge der granitischen Magmaausbrüche emporstiegen.

Sehr merkwürdig ist eine andere Gruppe von Metamorphosen, die sich in der Nachbarschaft von Zinnerzgängen an Graniten zeigen. Das einzige Zinnerz von Bedeutung ist der Zinnstein, eine Verbindung von Zinn mit Sauerstoff (Zinndioxyd). Man gewinnt ihn teils auf ursprünglicher Lagerstätte, auf Gängen, die in Graniten aufsetzen, teils in sogenannten „Seifen", d. h. sandigen oder lehmigen Ablagerungen, die aus der Zerstörung alter, zinnreicher Felsmassen hervorgegangen sind. In den meisten Gegenden (es sind im ganzen nicht gar viele, wo Zinnerz gegraben wird), im Erzgebirge, in Cornwall, am Mount Bischoff auf Tasmanien, auf der malaiischen Halbinsel und einzelnen Sundainseln, findet sowohl Abbau auf Gängen wie Ausbeutung von Seifen statt.

Uns interessiert hier nur die erstgenannte Art des Vorkommens. Die Zinnerzgänge sind gebunden an Granite, die einen eigentümlichen lithionhaltigen Glimmer führen. Lithium ist wie Kalium und Natrium ein Alkalimetall, in neuerer Zeit recht bekannt geworden durch sein — übrigens meist nur minimales — Vorkommen in zahlreichen Mineralquellen, denen es eine besondere Heilwirkung gegen Gicht verleiht. Lithionglimmer sind chemisch ungemein verwickelt aufgebaute Mineralien; sie enthalten unter anderem fast immer einige Prozent Fluor, das, wie wir wissen, zu den Vulkangasen gehört. Fluor ist im freien Zustand ein sehr reaktionsfähiger Grundstoff, d. h. er geht ungemein leicht Verbindungen mit anderen Elementen ein. Fluorhaltige Gesteine und Mineralien lassen darauf schließen, daß bei ihrer Bildung oder Umwandlung vulkanische Dämpfe im Spiele waren.

Wo nun Zinnerzgänge solche lithionhaltige Granite durchsetzen, haben sie längs ihrer Grenzen das Tiefengestein fast bis zur Unkenntlichkeit verändert. Beinahe dessen gesamter Feldspat ist zerstört; an seiner Stelle haben sich Quarz, Lithionglimmer, Topas, Turmalin, Zinnstein neu gebildet. Man bezeichnet einen so veränderten Granit als „Greisen", wenn er in der Hauptsache aus Quarz und Lithionglimmer, als „Zwitter", wenn er aus Quarz und Topas oder Turmalin*) besteht. Beide Ausdrücke ent-

*) Topas, der bekannte Edelstein, ist ein fluorhaltiges Tonerdesilikat, Turmalin ein verwickelt zusammengesetztes Silikat mit wesentlichem Borsäuregehalt.

stammen der alten Bergmannsprache des sächsisch-böhmischen Zinnreviers.

Untenstehende Abbildung mag das Auftreten der Zinnerzgänge veranschaulichen. Sie ist einem Werke von Charpentiers aus dem Jahre 1778 entnommen und bringt die Verhältnisse des Zinnerzvorkommens von Geyer im Erzgebirge zur Anschauung. Die Gänge führen viel Quarz, erscheinen daher auf dem Bilde weiß; das Erz sammelt sich in der Mitte zu einer dunkeln Linie. Auf beiden Seiten der Gänge erkennt man die dunklen Greisenstreifen, die nach außen wolkig und verschwommen in den lichten, wenig veränderten Granit übergehen. Im böhmischen Zinnerzrevier sind auch Quarzporphyre von feinen Klüften aus in Zwitter umgewandelt, so daß sie dunkelgebändert erscheinen (Abb. 129).

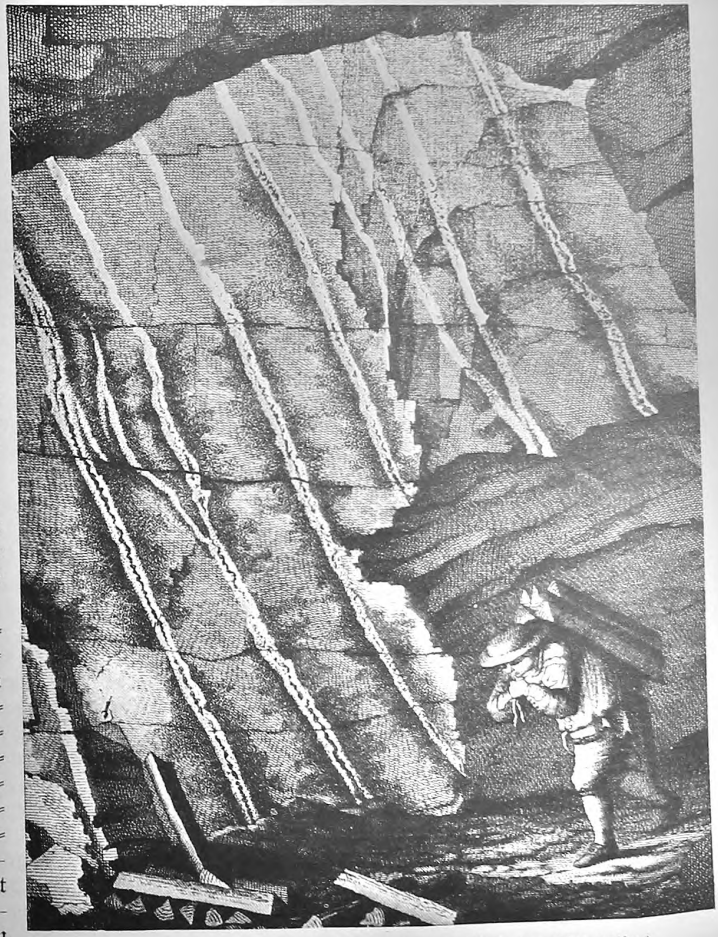


Abb. 130. Zinnerzgänge im Granit von Geyer. (Nach von Charpentier.)

Die Zersetzung ist indessen durchaus nicht immer auf so schmale Bänder beschränkt. Die vulkanischen Dämpfe drangen manchmal weithin in den Granit sowie in die benachbarten Schiefer ein und durchtränkten sie mit Zinnerz, Quarz, Topas, Turmalin usw. So entstanden umfangreiche Massen von Greisen, Zwittern und ähnlichen — wir können das Wort mit Recht anwenden — Kontaktgesteinen. Denn es handelt sich bei diesen Vorgängen allem Anschein nach um eine regelrechte, von den Zinnerzgängen ausgehende Kontaktmetamorphose; nur ist diesmal der Granit nicht der aktive, verwandelnde, sondern der passive, umgestaltete Teil.

Man erkennt, die Erscheinungen sind hier viel durchsichtiger, viel leichter zu deuten als bei der Kaolin- und Speckstein-bildung. Es dürfte denn auch heute keinen Mineralogen mehr geben, der am vulkanischen Ursprung der Zinnerzgänge zweifelte. Nur darüber gehen die Meinungen noch auseinander, was für chemische Vorgänge im einzelnen sich abgespielt haben.

Die Mineralien der Zinnerzgänge enthalten in bedeutenden Mengen gewisse chemisch sehr reaktionsfähige Grundstoffe, die auch in den Dämpfen (Fumarolen) vieler heute tätigen Vulkane nachgewiesen wurden. Es sind dies neben Fluor, von dem schon oben die Rede war, Bor, Phosphor, Arsen, ferner von metallischen Grundstoffen Zinn, Wolfram, Wismut, Kupfer und die Alkalimetalle. Die Bildung speziell des Zinnsteins aus gasförmigen Stoffen hat der verstorbene Geologe A. Daubrée im Laboratorium nachgeahmt, indem er durch eine zur

Weißglut erhitzte Porzellanröhre ein Dampfgemisch von Chlorzinn und Wasser streichen ließ. Wasser ist, wie allgemein bekannt, eine Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff. Bei der äußerst hohen Temperatur jenes Gemisches kam es zwischen den Grundstoffen des Wassers und Chlorzinns zur Wechselwirkung (Reaktion); das Chlor vereinigte sich mit dem Wasserstoff zu Salzsäure, während aus Zinn und Sauerstoff sich Kristalle von Zinnstein bildeten.

In der Natur wird es statt Chlorzinns Fluorzinn gewesen sein, das sich in dampfförmiger Gestalt mit dem Wasser umsetzte. Es entstand so Flußsäure, an Stelle der Salzsäure, aber Zinn und Sauerstoff verbanden sich auch in diesem Falle zu Zinnstein.

Übrigens nehmen manche Mineralogen insofern einen abweichenden Standpunkt ein, als sie keine Dämpfe, sondern heiße fluor-, bor-, zinn- usw. haltige Lösungen für die Entstehung der Zinnerzgänge verantwortlich machen. Sie können sich darauf berufen, daß man auf Malakka eine heiße Kieselquelle entdeckt hat, deren Sinterabsätze ein halbes Prozent Zinnstein enthalten. Natürlich geht auch der Ursprung solcher Quellen auf vulkanische Herde zurück.

Beiläufig sei noch erwähnt, daß auch Kaolin, und zwar hervorragend reines Kaolin, in der Nachbarschaft der Zinnerzgänge als Neubildung auftritt. Damit ist zum mindesten bewiesen, daß es sehr wohl auf vulkanischem Wege entstehen kann.

Alle bisher geschilderten Metamorphosen des Granits haben etwas Zufälliges, Ungewöhnliches an sich, man kann sagen: es sind krankhafte Veränderungen, die nur bei einer beschränkten Zahl von Gesteinkörpern auftreten. Die Hauptmasse der Granite ist normal und gesund, entweder ganz frei von jenen pathologischen Bildungen oder nur spurenweise angegriffen. Bleiben nun die vor zersetzenden Einflüssen geschützten Granite ewig jung und frisch, oder gibt es auch für sie eine langsame Auflösung und Zerstörung, die vielleicht erst nach Jahrmillionen ihre Wirkung äußert, aber doch so viel bedeutet wie Alter und Tod in der organischen Welt?

Für einen Granit, der völlig unberührt in den Tiefen der Erdrinde schlummert, wird man diese Frage verneinen. Es ist nicht einzusehen, wie er etwa aus sich selbst heraus sich langsam verwandeln könnte. Zwar lehren die neuen radioaktiven Forschungen, daß die Begriffe „Lebensdauer", „Geburt", „Tod" in gewissem Sinne auch auf chemische Grundstoffe angewendet werden können, aber es gilt dies — zunächst — nur für einen sehr beschränkten Kreis, dessen Glieder im Granit nur in höchst unbedeutenden Mengen vorkommen. Die wesentlichen Elemente des Granits müssen wir bis auf weiteres noch als durchaus beständig ansehen.*)

Eine andere Frage ist, ob es so ganz und gar vor äußeren Einflüssen geschützte Granite überhaupt gibt. Überlegen wir kurz, welche Bedingungen erfüllt sein müßten, um einen Granit in Wirklichkeit vollständig zu isolieren. Zunächst müßte er in Tiefen lagern, zu denen die einsickernden Gewässer nicht mehr hinabgelangen, d. h. im allgemeinen wohl mindestens einen Kilometer unter der Oberfläche. Andererseits dürfte das Massiv nicht zu tief hinabreichen, da sonst Erdwärme und Druck möglicherweise eine langsame Umwandlung bewirken könnten. Endlich müßte er außerhalb der Wirkungssphäre vulkanischer Gase, heißer Dämpfe und warmer Mineralquellen sich befinden und von jeher befunden haben.

Der letzten Bedingung können nur solche Granite genügen, die weit entfernt von ihrem vulkanischen Ausgangsherde zur Ruhe gekommen sind. Das setzt aber eine Lagerung in ziemlich hohen Niveaus der Erdrinde voraus, wodurch wieder gegen die erste Bedingung verstoßen wird. Man sieht, es ist keineswegs leicht für einen Granit, eine unbedingt geschützte Lage zu finden.

Nun kann ja in einem Gebiet die vulkanische Tätigkeit nach längerer oder kürzerer Zeit erlöschen, so daß von dieser Seite keine Umwandlung mehr zu erwarten ist. Aber der Granit wird dann zum mindesten die Anfänge irgendwelcher Metamorphose aufweisen. In der Tat ergibt die mikroskopische Untersuchung, daß fast alle dem bloßen Auge vollkommen frisch erscheinenden Granite unverkennbare Spuren der beginnenden Zersetzung an sich tragen.

Hinzukommt, daß im Lauf der Erdgeschichte zahlreiche Senkungen und Hebungen größerer Gebiete stattgefunden haben. Manche vorher unberührten Gesteinmassen wurden bis zu

---

*) Im normalen Granit sind enthalten: Sauerstoff, Wasserstoff, Silizium, Titan, Phosphor, Aluminium, Eisen, Magnesium, Mangan, Kalzium, Natrium, Kalium, ferner in sehr unbedeutenden Mengen: Zirkon, Zer, Yttrium, Fluor, Chlor und die beiden unbeständigen Grundstoffe Thorium und Radium.

einem Niveau gehoben, wo sie der Verwitterung oder wenigstens der Zersetzung durch Sickerwässer ausgesetzt waren. Andererseits ist es denkbar, daß infolge plötzlicher Zusammenbrüche oder ganz allmählich verlaufender Senkungen Teile der Erdkruste bis in die Nähe vulkanischer Herde hinabsanken.

Zu den gleichen Ergebnissen können in beiden Fällen auch Vorgänge führen, bei denen von Hebung oder Senkung, wenigstens im absoluten Sinne, keine Rede ist. An der Erdoberfläche wirkt auf die Gesteine fort und fort die Denudation, d. h. die abtragende Tätigkeit der Niederschläge, fließenden Gewässer und Brandungswogen, ferner des Inlandeises und der Gletscher sowie endlich des Windes, welch letztere („Deflation" genannt) vornehmlich in Wüsten und Steppen ihre Wirksamkeit entfaltet.

Im Lauf sehr großer Zeiträume vermögen die abtragenden Kräfte ungemein großartige Wirkungen zu erzielen. Ganze Schichtsysteme von tausend und mehr Metern Mächtigkeit werden bis auf kleine, vereinzelte Reste entfernt, Hochgebirge zerstört und zu flachwelligen Plateaus oder Hügelländern erniedrigt. Das Rheinische Schiefergebirge, das Plateau central in Frankreich sind solche abgehobelte „Rumpfgebirge", sie überragen jedoch das vorgelagerte Tiefland immer noch um mehrere hundert Meter. Ein völlig ausgeebnetes, uraltes Faltengebirge umgibt dagegen die Hudsonbai. Hier sind nur von den härtesten Gesteinen (Graniten, Gneisen usw.), die der Zerstörung den stärksten Widerstand entgegensetzten, unbedeutende Rücken und Hügel stehengeblieben, wobei die Höhenunterschiede zwischen „Berg" und „Tal" nur noch wenige Meter betragen. Auch die Hochgebirge der Gegenwart verfallen allmählich dem gleichen Schicksal. Der Schweizer Geologe Heim hat berechnet, daß die heute noch übriggebliebene Gebirgsmasse der Alpen nur ungefähr die Hälfte derjenigen ist, die einst durch Faltung emporgestaut wurde; die andere Hälfte haben die Gletscher der Eiszeit und die fließenden Gewässer abgetragen.

Wir wissen: eine erhebliche Denudation muß überall dort stattgefunden haben, wo heute Granite und andere Tiefengesteine an der Erdoberfläche anstehen; denn das Magma vermag ja nur unter Bedeckung sehr mächtiger Schichten in den Formen der Tiefengesteine zu kristallisieren. In vielen Fällen läßt sich die Abtragung direkt nachweisen durch vereinzelt stehengebliebene Schollen der alten Decke, so im Harz, dessen Granitmassive ursprünglich von Schichten devonischen und karbonischen Alters ganz bedeckt gewesen sein müssen.

Aber auf der Erde sind neben den abtragenden auch auflagernde Kräfte tätig. Die vom Wasser, Eis oder Wind abgetragenen und fortgeführten Massen gelangen in größerer oder geringerer Entfernung von ihrem früheren Standort wieder zur Ablagerung. Alle Sandsteine, Tone, Tonschiefer, Mergel sind Absätze der verschiedenen, auf der Erde tätigen Transportmittel. Andere Felsmassen, z. B. viele Kalksteine, sind aus den Schalen kleiner Lebewesen aufgebaut, noch andere verdanken in der Hauptsache chemischen Vorgängen ihre Entstehung. Kurz, überall, wo Schichtgesteine zum Absatz gelangen, wird das Niveau der Erdoberfläche erhöht. In demselben Sinne aber wirken die vulkanischen Kräfte, indem sie Kegelberge aufschütten, Quellkuppen aufstauen und die alte Landoberfläche mit Lavadecken überziehen.

Denken wir uns nun, in einer sehr weit zurückliegenden geologischen Periode, etwa der silurischen, sei granitisches Magma zwischen Schichtgesteine eingedrungen und unter ihrer schützenden Decke zu einem normalen Granit erstarrt. Denken wir uns ferner, daß während der späteren Perioden über den silurischen Schichten, also auch über dem Granitmassiv, neue sedimentäre Lagen von erheblicher Mächtigkeit sich absetzten, so mußte dies für die untersten Lagen eine zwar sehr langsame, doch stetig fortgesetzte Steigerung des Druckes und der Temperatur bedeuten. Betrug die Mächtigkeit der über dem Silur abgelagerten Schichten fünf Kilometer (eine Zahl, die gar nicht hoch gegriffen ist), so mußte der Druck um etwa 1250 Atmosphären, die Temperatur um 150 bis 200 Celsiusgrade zunehmen. Die Frage ist nun, ob so erhebliche Zustandsänderungen eine Metamorphose der zu unterst liegenden Gesteine bewirken konnten. Wohlverstanden: vulkanische Kräfte irgendwelcher Art sind diesmal von der Erörterung ausgeschlossen. Es fragt sich, ob Druck und Hitze allein langsame Umwandlungen der starren Gesteine herbeizuführen vermochten.

Eine heutzutage sehr angesehene Theorie, der Dynamometamorphismus, bejaht diese Frage, zieht indessen eine dritte Hilfskraft hinzu: das Wasser, das nach Ansicht der betreffenden Theoretiker in feinverteiltem Zustand, als „Gebirgsfeuchtigkeit", überall in der Erdkruste zugegen ist.

Der Dynamometamorphismus (vom griechischen dynamis „Kraft", weil als Haupt-

macher der Metamorphose eben mechanische Kraft vorausgesetzt wird) nimmt an, daß auf die gedachte Art und Weise ein normaler, massiger Granit allmählich zu einem Gneis werden kann. Bei Besprechung der Hypothesen über den Urzustand unseres Planeten haben wir den vieldeutigen Begriff „Gneis" schon erörtert und erinnern uns, daß man unter diesem Namen allerhand kristallinische Gesteine von wahrscheinlich sehr verschiedener Herkunft zusammenfaßt, die aus den gleichen Mineralien bestehen wie der Granit, aber infolge paralleler Lagerung der Glimmerblättchen schieferig ausgebildet sind. An dieser Stelle interessieren uns nur die Gneise von unzweifelhaft vulkanischem Ursprung, also die sogenannten Eruptivgneise. Nach der einen Ansicht, der wir uns anschließen, sind es Tiefengesteine, und zwar in den weitaus

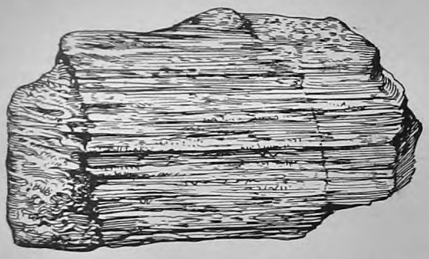


Abb. 131. Schieferiger Granit oder Gneis vom Monte Rosa. (Nach Weinschenk.)

meisten Fällen Granite, die ein besonders hoher Druck gleich von vornherein schiefrig erstarren ließ. Die Glimmerblättchen, bekanntlich ein ziemlich früh auskristallisierender Bestandteil, ordneten sich noch im flüssigen Magma zu parallelen Lagen, zwischen denen später Quarz und Feldspat in dünnen Schichten erstarrten.

Ein ganz anderes Bild geben uns die Lehren des Dynamometamorphismus. Nach ihnen gibt es keine ursprünglich aus dem Magma kristallisierten Gneise; was die Gegner dafür halten, sind durch Druck und feuchte Hitze umgewandelte Granite. Die „Druckmetamorphose" ist ihrem Wesen nach eine höchst allmähliche Umkristallisation, die um so langsamer verläuft, je niedriger die Temperatur ist, am langsamsten also in den obersten Schichten der Erdkruste. Die Rolle des Lösungsmittels übernimmt die allgegenwärtige Gebirgsfeuchtigkeit (vgl. oben), Steigerung des Druckes befördert die Auflösung; Druckverminderung, z. B. durch Abtragung der überlagernden Schichten, bewirkt ein Wiederauskristallisieren der gelösten Stoffe. Der ganze Vorgang aber spielt sich im starren, festen Gestein ab. Wie ist dies denkbar? Die Theorie sagt: Zu gleicher Zeit sind immer nur ganz geringe Stoffmengen, äußerst kleine Teile des Gesteins gelöst und umbildungsfähig. Als Ganzes genommen, erscheint das Gestein jederzeit vollkommen starr, ist scheinbar gar nicht in Umwandlung begriffen; demgemäß vollzieht sich die Metamorphose ganz ungemein langsam. Bei den ungeheuren Zeiträumen, mit denen die Geologie rechnet, wäre es allerdings denkbar, daß solch „unendlich kleine" Ursachen außerordentlich große Wirkungen erzielten.

Auf dem soeben gestreiften Gebiet ist die Wissenschaft von endgültig befriedigenden Ergebnissen noch weit entfernt, und die Streitfrage, ob Granite in der Tiefe sich langsam in Gneise verwandeln können, muß einstweilen unentschieden bleiben. Wohl aber steht fest, daß die Gewalt des Gebirgsdrucks einen Granit so umgestalten kann, daß er äußerlich gar nicht wiederzuerkennen ist. Wohlverstanden: nur der mechanische Druck, also starke Pressungen, wie sie bei der Faltung der Erdrinde sich mit Notwendigkeit einstellen; von irgendwelchen Einflüssen des Wassers oder der Erdwärme ist hier keine Rede. Solange die pressenden Kräfte mäßig bleiben, ist den Gesteinen äußerlich nicht viel anzumerken; erreicht aber der Druck einen gewissen Grad, so schwindet infolge vollständiger innerer Zermalmung der Gesteine ihr körniges Aussehen; sie erscheinen dem unbewaffneten Auge völlig dicht; oft kommt auch eine sehr ausgesprochene Schieferung zustande. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind die aus Granit entstandenen, ganz wie gewöhnliche Tonschiefer aussehenden „Pfahlschiefer" des Bayrischen Waldes.

Der „Pfahl" ist ein riesiger Quarzgang, der das schmale Hügelland zwischen den beiden Hauptketten des Bayrischen Waldes seiner ganzen Länge nach durchzieht, ja, er reicht gegen Nordwest noch darüber hinaus, bis in die Gegend von Amberg in der Oberpfalz. Seine geologische Bedeutung besteht darin, daß er eine mächtige Störungslinie (Dislokation) bezeichnet, auf deren Westseite das gesamte Gebirgsland viele Hunderte von Metern in die Tiefe gesunken ist. Sehr merkwürdig ist sein fast gradliniger Verlauf (bei einer Länge von etwa 150 Kilometern). Durch die pittoresken, steilen und zackigen Formen seiner Felsmassen sticht er auffällig ab von der eintönigen, weichen Granit- und Gneislandschaft ringsum. Auf seinem Rücken erheben sich Schlösser, Burgen und Kirchen; am bekanntesten ist die auf dem höchsten

Gipfel des Pfahls prangende Ruine Weißenstein (Abb. 132).

Daß in der Nachbarschaft einer so bedeutenden Störungslinie pressende Kräfte in außergewöhnlich hohem Grade tätig waren, erscheint begreiflich. Sie haben an manchen Stellen in unmittelbarer Nähe des Pfahls den Granit derartig zermalmt und zerrieben, daß er zum dichten, gleichmäßig hellen Schiefer geworden ist, an dem das Auge nicht mehr die geringsten Einzelheiten erkennt. Selbst das Mikroskop vermag uns in diesem Falle nicht zu helfen, nur die chemische Analyse bleibt als Erkennungsmittel übrig. Sie gibt uns die Gewißheit, daß die „Pfahlschiefer" nichts anderes sind als hochgradig entstellte Granite. Sie weist den nämlichen Gehalt an Kieselsäure und Metalloxyden nach wie im ganz unveränderten Gestein. Nur völlig zu feinstem, zusammengebackenem Staub zerrieben ist der Granit. Und das Merkmal der Schieferung haben ihm die Druckkräfte aufgeprägt. Aber ein Granit ist er geblieben, trotz alledem. Von chemischer und mineralischer Umwandlung, wie wir sie bei der Kaolin- und Speckstein-bildung, bei der Metamorphose im Bereich der Zinnerzgänge kennen lernten, ist bei dieser rein mechanischen Umformung durchaus keine Rede.

Auch die Entstehung der „Pfahlschiefer" ist nur eine Ausnahmeerscheinung. Wenden wir uns nunmehr den Veränderungen zu, die jeder Granit ohne Ausnahme an der Erdoberfläche sowie bis zu einer gewissen Tiefe durch die Verwitterung erleidet.

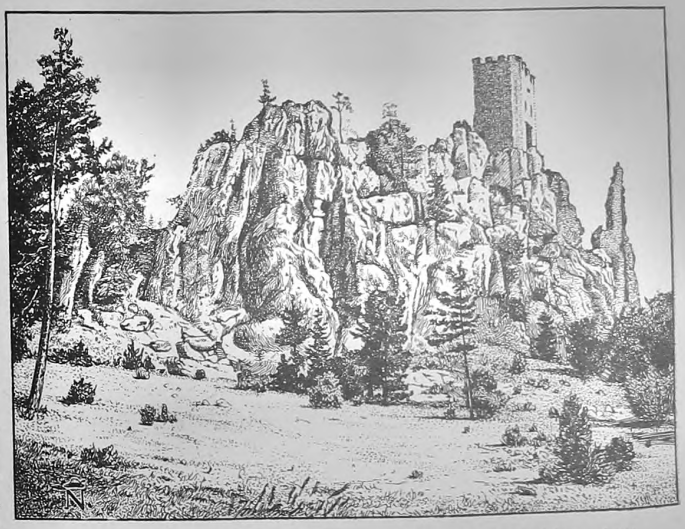


Abb. 132. Burg Weißenstein bei Regen, auf einem Pfahlquarzfelsen erbaut.

Die Verwitterung und ihre Produkte.

Regen, Schnee, Tau, Sonnenhitze, Frost, Sturm (die sogenannten Atmosphärilien) arbeiten unausgesetzt an der Zerstörung der Erdrinde, ihre Arbeit ist teils mechanisch und besteht im Auflockern, Zersprengen und Zerkleinern der Gesteine (physikalische Verwitterung), teils zerlegt sie das Felsmaterial auf chemischem Wege, indem sie gewisse Stoffe daraus löst und fortführt und die anderen ungelöst zurückläßt (chemische Verwitterung). Das lösende Mittel ist das Wasser, vor allem das Niederschlagswasser, dessen Lösungsfähigkeit erheblich gesteigert wird durch seinen Gehalt an Sauerstoff, Kohlensäure und organischen Verbindungen. Auch das Meerwasser zersetzt die Gesteine, wenn schon nicht in dem Grade wie Regen und Schnee.

Neben der physikalischen und chemischen Verwitterung unterscheidet die Geologie noch eine organische Verwitterung, die gewöhnlich mit den beiden anderen aufs engste verknüpft ist. Sie wird hauptsächlich von pflanzlichen Organismen ausgeübt, die zu Nahrungszwecken dem Erdboden gewisse der chemischen Verwitterung trotzende Stoffe entziehen. Flechten und manche Moose gedeihen auf dem kahlsten Felsen; sie entnehmen ihre Nahrung dem festen Gestein. Aber auch die Wurzeln höherer Pflanzen vermögen in festen Kalk und ähnliche Gesteine einzudringen, dank ihrer Fähigkeit, an den äußer-

sten Wurzelenden schwache Säuren auszuscheiden, mit deren Hilfe sie sich in die Felsen einätzen. Ferner kommt die noch wenig studierte und aufgeklärte Tätigkeit der Bakterien*) in Betracht. Im Süßwasser wirken besonders gewisse Algen zerstörend auf die Gesteine ein, an den Meeresküsten aber ist es ein ganzes Heer bohrender Würmer, Seeigel und Muscheln, das die Felsen zerfrißt und zerlöchert und der Brandung ihre Arbeit erleichtert. Am bekanntesten unter ihnen sind wohl die Bohrmuscheln oder Pholaden, die selbst so harte Gesteine, wie den Granit, nicht verschonen. Von ihrer Tätigkeit gibt Abb. 133 eine Vorstellung.

Abb. 133. Gneisplatte, von Pholaden durchbohrt.

Im übrigen sind bei den Graniten die Erscheinungen der physikalischen Verwitterung besonders mannigfaltig. Ein anderes Bild ergibt sich, je nachdem wir z. B. die Schicksale eines Granits im Hochgebirge oder im Wüstengebiete uns vor Augen führen. Dort ist es in erster Linie der Frost, hier die Sonnenglut, die zerstörend wirkt.

Bekanntlich dehnt sich Wasser beim Gefrieren unter ganz bedeutender Kraftentwicklung aus. Dickwandige Gefäße werden von frierendem Wasser mit Leichtigkeit zersprengt. Eben diese Eigenschaft des Wassers wird auch den Gesteinen verderblich. Das in alle feinen Spalten und Haarröhren der Felsen eindringende Regen- und Schneewasser entwickelt beim Gefrieren eine so unwiderstehliche Gewalt, daß es feine Risse zu Sprüngen erweitert und die härtesten Felsmassen zerklüftet und zerbröckelt.

Dieser sogenannte Spaltenfrost vermag im Hochgebirge seine Wirksamkeit in besonders ausgiebigem Maße zu entfalten, und zwar vornehmlich während der Frühlings- und Herbstmonate, da zu diesen Zeiten die Luftwärme schon in verhältnismäßig geringen Höhen fast allnächtlich unter Null sinkt, bei Tage aber, unter dem Einfluß der Sonne, oft sommerliche Temperaturen sich einstellen. Naturgemäß sind es die Morgenstunden, in denen die Zerstörungsarbeit des Spaltenfrostes am besten beobachtet werden kann. Sobald die Sonne einige Kraft gewinnt, schmilzt das Eis in den Poren und Haarspalten der Felsen, und „Steinschläge" prasseln in die Tiefe.

Im Gebiet der Tropen, namentlich in den regen- und vegetationsarmen Landstrichen, den Wüsten, vollbringt schon allein die Sonnenglut eine langsame, stetige Zertrümmerung der Gesteine. Joh. Walther teilt in seiner „Lithogenesis der Gegenwart" zahlreiche einschlägige Beobachtungen mit, die er und andere Reisende über die zerstörende Tätigkeit der „Insolation" (Sonnenbestrahlung) machen konnten.

Im allgemeinen zerspringen unter dem Einfluß der Sonnenhitze die Gesteine zu scharfkantigen Bruchstücken, so bemerkt man an Granit- (und Kalk-) Felsen oft rundliche Sprünge, die konzentrische Schalen vom Gestein ablösen. Beim Granit von Westtexas bilden sich auf diese Weise 10 Zentimeter dicke Rinden, die man in metergroßen Stücken vom Felsen abheben kann.

Auch in unserem Klima kann man bisweilen eine schalige Abblätterung der Granite und anderen körnigen Gesteine beobachten.

Für Felsarten, die aus verschiedenen, namentlich verschieden gefärbten Mineralkörnern zusammengesetzt sind, wie z. B. der Granit, kommt außerdem in Betracht, daß die einzelnen Mineralien sich bei Erwärmung in verschie-

*) Ihre Bedeutung für die Zersetzung der Felsarten erhellt aus der Tatsache, daß in einem Gramm Ackererde nach J. Walther 3—500 000 Bakterien enthalten sind.

denem Grade und mit abweichender Geschwindigkeit ausdehnen, bei Abkühlung sich demgemäß auch ungleichartig zusammenziehen. Jedes Mineralkorn verschluckt am Tage eine andere Wärmemenge und dehnt sich anders aus als das benachbarte, abweichend gefärbte Korn, während bei Nacht infolge der Wärmeausstrahlung der umgekehrte Vorgang sich vollzieht.

In unserem regenreichen Klima wird man freilich solchen, durch physikalische Verwitterung entstandenen Granitgrus vergeblich suchen. Er ist auf Wüstengebiete beschränkt.

Sobald zu den zerstörenden Kräften der Einfluß des Wassers hinzutritt, beginnt die chemische Verwitterung. Untersucht man innerhalb eines Granitgebietes den Sand der Flüsse und Bäche, so findet man ihn anders zusammengesetzt als das Gestein, aus dessen Zertrümmerung er hervorgegangen. Ein sehr bedeutender Teil des Feldspats ist verschwunden, auch der Glimmergehalt hat sich verringert, das Ergebnis ist daher, daß Quarz unter den Körnern stark vorherrscht. Je weiter der Sand von seinem Ursprung fortgeführt wird, um so mehr verschiebt sich das Verhältnis zugunsten des Quarzes, so daß sich in großer Entfernung schließlich Sande ablagern, in denen man nur hier und da noch ein Feldspatkorn oder ein Glimmerschüppchen findet.

An Stelle der mineralischen kann man auch die chemischen Bestandteile des Granits auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Auflösung untersuchen. Quarz ist reine Kieselsäure, wir werden daher bei diesem Stoff die gleiche Beständigkeit erwarten wie beim Quarz. Das ist auch der Fall, nicht minder aber bei der Tonerde, die ebenfalls fast unversehrt zurückbleibt. Ziemlich widerstandsfähig erweisen sich Kali und Magnesia, während vom Natron, Kalk und Eisen die Hauptmenge gelöst und fortgeführt wird. Es ist klar, daß z. B. ein Plagioklas, an dessen Aufbau sich Kieselsäure, Tonerde, Natron, Kali und Kalk beteiligten, durch die Kräfte der chemischen Verwitterung ganz und gar zersetzt wird.

Obige Angaben gelten für Granitgrus, der eine mittlere Etappe auf der Bahn der Verwitterung vorstellt. Das Endergebnis des ganzen Vorganges ist die Ackerkrume, die neben vorherrschenden tonigen und sandigen Bestandteilen stets noch geringe Mengen Metalloxyde, namentlich Kalk, Kali und Magnesia, enthält.*)

*) Ferner auch Phosphorsäure, die, wie S. 136 erwähnt wurde, keinem Granit fehlt und von den Atmosphärilien nicht gelöst wird.

Hier sind wir an den Punkt gelangt, wo die organische Verwitterung einsetzt. Die soeben erwähnten Stoffe sind von großer Bedeutung für das Wachstum und die Ernährung der höheren Pflanzen, die mittels der Ausscheidungen ihrer Wurzeln, vielleicht unter Mitwirkung von Bakterien, jene Substanzen lösen und ihrem Körper einverleiben. In Gebieten reichen Pflanzenwuchses muß daher mit der Zeit eine Erschöpfung des Bodens an pflanzlichen Nährsalzen eintreten; dann läßt der Landwirt die Felder brach liegen, d. h. er gönnt der chemischen Verwitterung die nötige Zeit, den Boden aufs neue mit den Stoffen zu durchtränken, die zum Gedeihen der Vegetation erforderlich sind.

Während in unseren Breiten als endliches Verwitterungsprodukt der Granite und verwandten Gesteine ein gelber bis brauner Lehm entsteht, bilden sich in den Tropen ziegelrote oder grellrote Massen, die sogenannten Laterite (vom lateinischen later, Ziegelstein); in Südindien werden sie tatsächlich zum Häuserbau benutzt. In vielen Gegenden der heißen Zone lagern sie als eine 20—50, ja gelegentlich mehr als 100 Meter dicke Oberflächenschicht über dem anstehenden Gestein, in das sie nach unten hin allmählich übergehen. Die lebhaft rote Farbe des Laterits rührt von seinem Gehalt an Eisenoxyd her, dessen Stelle in den Verwitterungsprodukten der gemäßigten Zone braune, wasserreiche Eisenverbindungen vertreten; sie ist selbstverständlich um so kräftiger, je eisenreicher das ursprüngliche Gestein war.

Auch im übrigen ist die chemische Zusammensetzung des Laterits eine ganz andere als die unserer gewöhnlichen Lehmarten. Den Hauptbestandteil der letzteren bildet der Ton, das ist eine Verbindung der Kieselsäure mit Tonerde*) und wahrscheinlich auch mit Alkalien, also ein Silikat; außerdem enthält der Lehm gewisse, aus dem ursprünglichen Gestein stammende Metalloxyde: Kalk, Magnesia, Alkalien. Bei der Lateritbildung aber kann kein Ton entstehen, weil die dazu notwendige Kieselsäure im Lauf der Zersetzung entfernt wird; die übriggebliebene Tonerde nimmt Wasser auf und bildet ein

*) Tonerde ist bekanntlich das Oxyd des Aluminiums, eine Verbindung von zwei Molekülen dieses Metalls mit drei Molekülen Sauerstoff. Als Hydrate bezeichnet man Verbindungen der Metalloxyde mit Wasser. Aus der Tonerde können durch Hinzutritt von Wasser verschiedene Hydrate entstehen, so der obengenannte Hydrargillit, ferner der Bauxit, ein unscheinbares Mineral, aus dem durch Elektrolyse das metallische Aluminium hergestellt wird.

Hydrat, das in der Mineralogie den Namen Hydrargillit führt. Auch die obengenannten Metalloxyde sind im Laterit bis auf geringe Spuren verschwunden.

Abb. 134. Granitdom in der Sierra Nevada (Kalifornien). (Nach Lapparent.

Warum die Verwitterung in den Tropen so ganz andere Wege einschlägt als in der gemäßigten Zone, ist noch unerklärt. Einige Forscher suchen die Ursache neben der hohen Lufttemperatur und starken Feuchtigkeit in den gewaltigen, während der Regenzeit tagtäglich niedergehenden Gewittern. Bei starken elektrischen Entladungen bilden sich nämlich aus dem Luftstickstoff nicht unbedeutende Mengen salpetriger und Salpetersäure sowie deren Ammoniumsalze. Spuren dieser Stoffe lassen sich auch im Regenwasser unserer Breiten fast immer nachweisen, aber in der heißen Zone steigt der Gehalt auf das 10- bis 20fache. Unter dem Einfluß dieser stark ätzenden und oxydierenden Säuren soll die Auflösung der Gesteine in einer viel energischeren Weise vor sich gehen als bei uns und schließlich zur Lateritbildung führen.

Die über dem festen, nahezu frischen Gestein lagernde Verwitterungsdecke besitzt in verschiedenen Gegenden der Erde sehr verschiedene Mächtigkeit. Auf den Kämmen, Gipfeln und steilen Abhängen der Hochgebirge vermag sich der abgelöste Schutt nicht zu halten; sobald sich irgendwo eine gewisse Menge gebildet hat, wird sie vom nächsten starken Regenguß oder von der Schneeschmelze hinweggewaschen. An vielen Stellen kann es zu einer Einwirkung der chemischen Verwitterung überhaupt gar nicht kommen, weil durch die Tätigkeit des Spaltenfrostes und anderer abtragender Kräfte die Oberflächenschicht der Felsen immer sehr schnell entfernt wird.

In den granitischen Ketten unserer Zentralalpen (Montblanc, Albula, Zillertaler Alpen, Hohe Tauern, Ifinger bei Meran usw.) und anderer Hochgebirge kann jeder Reisende leicht zwei auffällige, voneinander verschiedene Reliefformen des Gebirges beobachten. Einmal kompakte, wenig gegliederte Bergmassive mit großartigen, festen Felswänden, zweitens aber scharfe, zackige Grate, aus denen Felstürme und Felsnadeln, oft von mächtigen Dimensionen, emporragen. Diese zweifache Gestaltung beruht nach E. Weinschenk auf dem

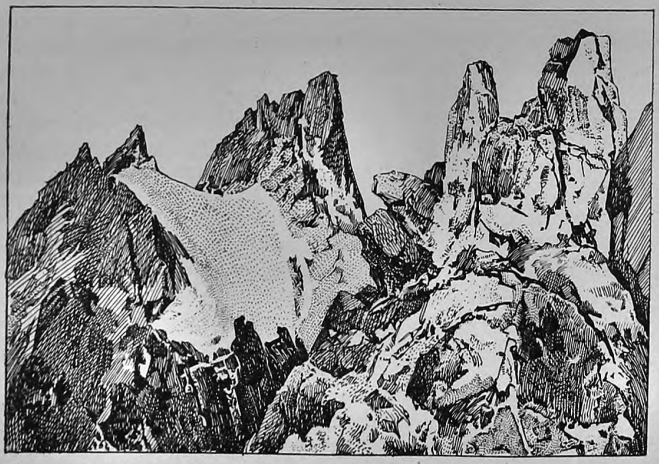


Abb. 135. Eine Gruppe der Aiguilles Dorées (schieferiger Granit) bei Champex. (Nach G. Becker.)

wechselnden Gefüge des Gesteins: richtungslos körnige Granite bilden mit Vorliebe massige Bergformen (Abb. 134), während schieferige (gneisartige) Varietäten mannigfach gestaltete,

gezackte und zerrissene Kämme aufbauen (Abb. 135).

Ganz andere Verhältnisse findet man in den Tälern der Hochgebirge, ferner in den Mittelgebirgen und Tafelländern. Hier besitzen die abtragenden Kräfte nicht jene unwiderstehliche Gewalt und wirken nicht so unaufhörlich wie im Hochgebirge; nur bei schweren Naturkatastrophen, Überschwemmungen, Erdrutschen und dergleichen entfalten sie ihre Tätigkeit in größerem Maßstabe. Daher können in solchen Gegenden die Schuttmassen der Verwitterung lange Zeiten, bisweilen ganze geologische Epochen hindurch, an Ort und Stelle direkt über dem ursprünglichen Gestein sich anhäufen. Die Wissenschaft bezeichnet diesen Vorgang als kumulative Verwitterung (lateinisch cumulare, anhäufen), man kann ihn vorzüglich im inneren Gebiet des Bayrischen Waldes, z. B. in der Gegend um Zwiesel und Regen, studieren. Dort ist der Granit bis in beträchtliche Tiefen zu Sand und Grus zersetzt und wird in Gruben für die Mörtelbereitung abgebaut. Man wandert im Bayrischen Wald oft ganze Stunden durch weite Granitlandschaften, ohne einen einzigen anstehenden Felsen zu finden.

Im großartigsten Maße ist die kumulative Verwitterung in der heißen Zone entwickelt. Die ungemein dichte Vegetationsdecke der Tropen verhindert in der Regel, daß der entstandene Schutt und Grus vom Wasser oder anderen abtragenden Kräften fortgeführt wird. „Unaufhaltsam schreitet", sagt J. Walther, „unter dem Einfluß starker Niederschläge die chemische Verwitterung weiter, lockert immer tiefere Gesteinschichten und erzeugt jene oft 100 Meter mächtige Decke an Ort und Stelle zersetzter Verwitterungsprodukte. Reichliche Niederschläge und eine hohe Lufttemperatur sind notwendig für diesen Vorgang der Tiefenzersetzung . . ."

In den Mittelgebirgen der gemäßigten Zone bildet der Granit im allgemeinen runde, sanftgewölbte Hügel, domförmige Erhebungen, breite Rücken, auf denen oft Moore und Torflager vorkommen (Abb. 136). Im ganzen eine recht eintönige Landschaft, die nur hie und da durch sehr auffällige Felsgebilde unterbrochen wird. Teils sind es riesenhafte Trümmermassen, teils malerische, seltsam modellierte Felsburgen, die von jeher die Aufmerksamkeit des reisenden Publikums auf sich gezogen haben.

Da ist die Luisenburg bei Wunsiedel im Fichtelgebirge, eine großartige Wildnis scheinbar völlig regellos durch- und übereinander gestürzter Granitfelsen, zum Teil von ganz bedeutenden Dimensionen. An vielen Stellen erlauben nur schmale Spalten den Durchgang, mancherwärts auch nur ein Durchschlüpfen in gebückter Stellung, ja einzelne Passagen sind für einigermaßen beleibte Personen gar nicht passierbar. Ein gewaltiger Felsblock, der Napoleonshut, berührt den unter ihm ruhenden Felsen nur an einer einzigen, kleinen Stelle; er liegt so lose, daß ein starker Mann ihn zum Schwingen bringen kann. Berühmt ist das Felslabyrinth auch durch das in seinen Spalten wachsende Leuchtmoos, eine bronzefarben schillernde Art, die, früher ziemlich verbreitet, jetzt noch in einigen Grotten und Klüften sich erhalten hat.

Abb. 136. Granitlandschaft aus dem Schwarzwald (Blick vom Büchereck in das Gutachtal). (Phot. v. d. Trappen.)

Das ganze gewaltige Trümmerfeld — eine einzelne Felsengruppe stellt Abb. 137 dar — macht auf den ersten Blick den Eindruck, als sei es durch eine außergewöhnliche Naturkatastrophe entstanden. Ein riesiger Granitberg scheint in sich zusammengebrochen zu sein. Man denkt an Erderschütterungen von heutzutage un-

erhörter Gewalt, an Sintfluten, an gigantische Explosionen im Erdinnern, die das überlagernde Gestein zerrissen und zertrümmerten. Doch schon Goethe, der im Jahre 1820 auf seiner Reise nach Karlsbad die Luisenburg besuchte, hat derartige „gewaltsame" Erklärungen mit „Abscheu" zurückgewiesen. Er sieht die Ursachen, die ein so merkwürdiges Naturgebilde schufen, in einer „teilweisen Auflösung und teilweisen Beergreift, sondern sie zunächst in rundliche Blöcke zerlegt, wobei deren Zwischenräume von Grus und Lehm ausgefüllt werden. Es liegen die nur oberflächlich verwitterten, im Kern noch ziemlich frischen Blöcke eingebettet im mulmigen Sande (vgl. Abb. 138). Allmählich wachsen die gruserfüllten Zwischenräume, die Reste des kompakten Gesteins werden kleiner, bis sie endlich verschwinden, und die ganze Felsschicht gleichmäßig zu Grus geworden ist.

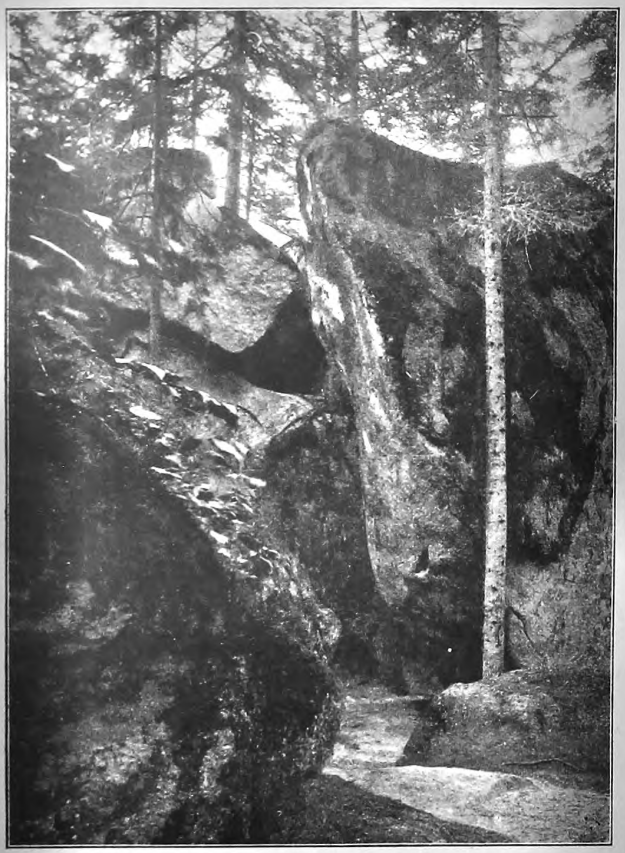


Abb. 137. Felsengruppe der Luisenburg.

Wird aber, ehe es so weit kommt, der in den Lücken entstandene Schutt entfernt, z. B. durch fließendes Wasser, so bleibt ein Haufwerk lose über- und nebeneinander liegender Felsblöcke übrig. Auf diese Weise können Felsenmeere entstehen, deren einzelne Steine, wie dies infolge der Tätigkeit des Wassers natürlich ist, im allgemeinen eine rundliche, die sogenannte Wollsackform besitzen.

Ein typisches, aus Granitblöcken bestehendes Felsenmeer gibt es in der Nähe des durch seine Steinindustrie bekannten Dorfes Reichenbach im Odenwald. Vom Kurort Jugenheim an der Bergstraße ist es auf dem Wege über Forsthaus Felsberg in anderthalb Stunden zu erreichen. Fast der gesamte Felsberg, ein langer, ziemlich niedriger Rücken, ist hier mehr, dort weniger dicht von ansehnlichen Granitblöcken bedeckt. An den meisten Stellen stecken die Blöcke zum größten Teil in der Erde, hohe Buchen sind zwischen ihnen gewachsen und verleihen der Landschaft einen eigenen, romantischen Reiz. Nur unterhalb des Forsthauses, gegen Reichenbach zu, ist das Felsenmeer an zwei Stellen völlig freigelegt. Wer sich die Mühe macht, das Steinchaos zu durchklettern, hört hie und da unter seinen Füßen Wasser rauschen, das noch fort und fort an der Arbeit ist, den Untergrund weiter auszunagen und zu vertiefen.

Noch weiter abwärts trifft man Steinbrüche im Granit, an deren Wänden man das Fort-

harrlichkeit des Urgesteins", eine Auffassung, welche die heutigen Geologen allgemein teilen.

Man erklärt solche „Felsenmeere", wie die Luisenburg — weitere Beispiele werden wir sogleich kennen lernen —, als Erzeugnis der „säkularen", d. h. im Lauf der Jahrtausende unaufhaltsam fortwirkenden Verwitterung.

Häufig läßt sich beobachten, wie die Auflösung des Granits und ähnlicher Felsarten nicht gleichmäßig eine bestimmte Gesteinschicht

schreiten der Verwitterung vorzüglich beobachten kann. Die oberste Lage besteht aus Walderde und ist von den Wurzeln der Bäume durch-

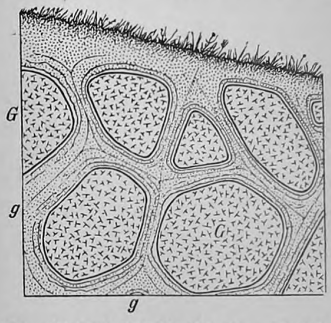


Abb. 138. Verwitterung des Granits. (Nach Credner.)

drungen. Darunter folgt eine Schicht mit rundlichen, wollsackförmigen Blöcken, die in Grus und Lehm eingebettet sind. Sie geht allmählich nach unten über in das kompakte, frische Gestein, das bis zu einer gewissen Tiefe noch reichliche Sprünge und Risse aufweist, die Bahnen, von denen aus die auflösende, zersetzende Feuchtigkeit immer neue, tiefere Felsschichten der Verwitterung erschließt.

Für die Felsenmeere des Odenwaldes ist, nach den geschilderten Beobachtungen, die Entstehung durch „säkulare" Verwitterung zweifellos. Ähnliche Blockmassen trifft der Reisende in allen Mittelgebirgen, an deren Aufbau Granit in hervorragendem Maße beteiligt ist. Auch das Felsenchaos der Luisenburg denkt man sich auf die gleiche Weise entstanden. Immerhin bleiben meines Erachtens hier zwei Bedenken bestehen, auf die ich kurz aufmerksam machen will.

Einmal zeigen die Felsen der Luisenburg in ihrer Mehrzahl nicht jene für säkulare Verwitterung typischen gerundeten und abgeschliffenen Formen, sondern mehr eckige, polyedrische Umrisse, wie sie z. B. für Bergsturzmassen im Hochgebirge charakteristisch sind. Zweitens liegt die Frage nahe: wenn granitische Trümmergebilde, wie die Luisenburg mit so gewaltigen Dimensionen der einzelnen Felsen, ausschließlich durch gewöhnliche Verwitterung entstehen konnten, warum dann diese Erscheinung nicht häufiger vorkommt. Im Bereich der europäischen Mittelgebirge steht trotz der verhältnismäßig großen Ausdehnung granitischer Massive, soviel mir bekannt, die Luisenburg vereinzelt da. Denn die Felsenmeere des Odenwaldes, der Vogesen usw. zeigen ja andere, mehr gerundete Formen, überdies sind es, im Vergleich mit den gigantischen Massen der Luisenburg, geradezu zwerghafte Gebilde. Die Kräfte der Verwitterung waren überall tätig, — warum haben sie nur einen einzigen Granitberg des Fichtelgebirges in so auffallender Weise umgestaltet?

Mir scheint: das Rätsel der Luisenburg hat noch keine völlig befriedigende Lösung gefunden. Die lösende und vertiefende Tätigkeit des Wassers allein war schwerlich geeignet, eine so merkwürdige Erscheinung hervorzubringen. Wohl aber dürfen wir ihr die Entstehung jener

Abb. 139. Der Weißenstein im Fichtelgebirge.

pittoresken, aus übereinander liegenden Platten aufgebauten Felszinnen zuschreiben, die in unseren Mittelgebirgen die Gipfel mancher Granit-

berge krönen. Abb. 139 und 140 stellen derartige Felsformen dar. Der Weißenstein (nicht zu verwechseln mit dem S. 143 abgebildeten Weißenstein bei Regen im Bayrischen Wald) erhebt sich auf dem nach Süden vorgeschobenen Kamm

Abb. 140. Der Dreisesselstein im Böhmerwald.

des Fichtelgebirges; sein Gipfel trägt die Ruinen einer im Hussitenkriege zerstörten Burg. Der Dreisesselstein liegt im Böhmerwald, nahe dem Punkte, wo die Grenzen Bayerns, Böhmens und Oberösterreichs zusammenstoßen. Die Felstürme auf seinem Gipfel erreichen z. T. nahezu 30 Meter Höhe.

Daß der Granit hier und anderswo gerade zu übereinander getürmten Platten verwitterte, liegt an dem ursprünglichen Gefüge des Gesteins. Parallel zur Erstarrungsoberfläche, die bei Lakkolithen (vgl. S. 93) im allgemeinen der Oberfläche des Berges entsprechen wird, ist das Gestein besonders leicht spaltbar, weil in den Grenzzonen des Massivs zahlreiche Glimmerblättchen sich mit ihrer breiten Seite parallel der Oberfläche lagern, mit anderen Worten, weil der massige Granit hier in schiefrigen Gneis übergeht. Der so vorgezeichneten Richtung, also den Schieferfugen, folgt die eindringende Feuchtigkeit und bringt infolge des Zusammenwirkens der chemischen und der physikalischen Verwitterung (Spaltenfrost!) jene plattigen Felsformen hervor.

Besitzt das Gestein nicht eine, sondern mehrere Richtungen leichter Spaltbarkeit, so entstehen keine Platten, sondern Blöcke, die ursprünglich ziemlich regelmäßige Kistenform besitzen. Die fortschreitende Auflösung rundet diese eckigen Gebilde mehr und mehr ab, so daß daraus schließlich die für Felsenmeere charakteristischen „Wollsäcke" hervorgehen.

Bislang war fast ausschließlich die Rede von den grob sichtbaren, auch dem Laien auffallenden Zeichen und Formen der Verwitterung, die zumeist in einem ziemlich vorgeschrittenen Stadium zutage treten. Als frühestes dieser Anzeichen gilt die Gelbfärbung des vordem grauen oder roten Granits, bedingt durch Sauerstoffaufnahme (Oxydation) des in ihm enthaltenen Eisens, oder auch die Bildung von Dendriten (Abb. 141) auf Kluftflächen des Gesteins. Solche Dendriten, die von Unkundigen wohl für versteinerte Pflanzenreste gehalten werden, sind durchaus anorganische Gebilde, sogenannte Wachstumsformen, und können aus verschiedenen eisen- oder manganhaltigen Verbindungen bestehen.

Aber auch im scheinbar völlig frischen, gesunden Gestein erkennt der Forscher mit Hilfe

Abb. 141. Dendriten, Plattenkalk von Solnhofen.

des Mikroskops in den meisten Fällen die Spuren beginnender Zersetzung. Zwei Hauptgemengteile des Granits, Feldspat und dunkler Magnesiaglimmer (Biotit), zei-

gen gegenüber den Einflüssen der chemischen Verwitterung eine derartige Empfindlichkeit, daß sie selten in vollkommener Frische erhalten geblieben sind.

Bei den Feldspatkristallen beginnt die Zersetzung so, daß sich längs der Spaltrisse ein feiner Belag höchst winziger Schuppen ablagert. Die Schuppen zeigen ein glimmerähnliches Aussehen, ob sie aber wirklich Glimmer sind, ist noch nicht erforscht. Von den Rissen aus wuchern sie weiter, ergreifen den ganzen Kristallkörper und verdrängen die Substanz des Feldspats vollständig. Ein so umgewandelter Kristall ist bedeutend fester als der ursprüngliche Feldspat und bricht bei weitem nicht mehr so leicht nach den Spaltflächen auseinander. Das Endergebnis ist eine vollständige Trübung des Kristalls, dem bloßen Auge erscheint er matt, glanzlos, unter dem Mikroskop ist er völlig undurchsichtig.

Der dunkle Glimmer (Biotit) verwittert unter Beibehaltung seiner Form zu weichem, grünem Chlorit. Dieses Mineral unterscheidet sich in chemischer Hinsicht vom Biotit hauptsächlich durch weit geringeren Kieselsäuregehalt und durch das Fehlen der Alkalien, ist demnach ein ziemlich kieselsäurearmes (basisches) Tonerdemagnesiasilikat. Chlorit kristallisiert in den nämlichen sechsseitigen Blättchen wie die Glimmermineralien. An manchem Granit sind hie und da grüne Chloritschüppchen mit bloßem Auge wahrnehmbar.

Unter dem Mikroskop kann man die Umwandlung des Biotits in Chlorit in allen Stadien verfolgen. Viele Täfelchen bestehen teilweise aus braunem Glimmer, teilweise aus grünem Chlorit.

Wie oben bemerkt wurde, gibt es kaum einen Granit, der nicht selbst im frischesten Gestein die Anfänge der Zersetzung des Kalifeldspats und Biotits erkennen ließe. Ob es in den tieferen Teilen der Erdkruste, die außerhalb des Bereichs der einsickernden Niederschlagswässer liegen, Granite von absolut frischer Beschaffenheit gibt, ist bislang nicht erforscht worden.

Durch Verwitterung und Abtragung können die oberflächlichen Partien eines Granites völlig verschwinden, die Bestandteile werden, soweit sie nicht schon das Wasser gelöst hat, vom Wasser, Eis oder Wind fortgeführt und finden oft in sehr beträchtlicher Entfernung von ihrem Ursprungsort Verwendung zum Aufbau von Trümmergesteinen (vgl. S. 132). Die Herkunft der einzelnen Gemengteile solcher Trümmergesteine ist nur in besonders günstigen Fällen mit einiger Sicherheit zu ermitteln.

Anders liegt die Sache, wenn das Verwitterungsmaterial an Ort und Stelle oder in geringer Entfernung vom Ursprungsgestein lagern bleibt. Dann kann der Fall eintreten, daß der Granitgrus durch irgendein Bindemittel, z. B. kiesel- oder kalkhaltiges Wasser, wieder zusammengebacken wird. Der schon halb zerstörte Granit ist gleichsam wiedergeboren, aufs neue zu einem Gestein verfestigt, das man als „regenerierten" Granit oder auch als „Arkose" bezeichnet. Diese können „echten" Graniten so ähnlich sehen, daß ungeübte Beobachter sie leicht damit verwechseln. Aber selbst

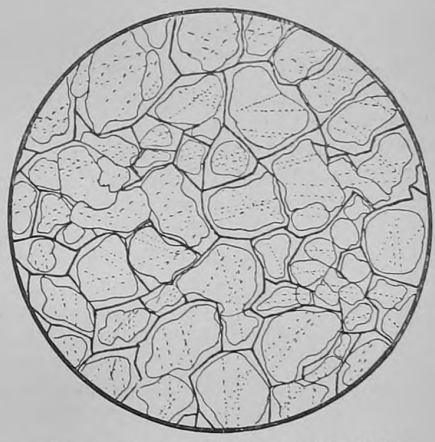


Abb. 142. Dünnschliff eines Kristallsandsteins. (Nach Rosenbusch.)
Die alten, an ihren Einschlüssen kenntlichen Granitquarzkörner sind durch frisch zugeführte Kieselsäure gewachsen, bis sie einander auf allen Seiten berühren.

bei größter äußerlicher Übereinstimmung besteht doch ein wesentlicher, innerer Unterschied: fast alle Arkosen enthalten weniger Feldspat und mehr Quarz als die ursprünglichen Granite. Der Feldspat war eben schon vor der Verwitterung zum Teil zerstört. Sehr merkwürdig ist die in einigen Arkosen beobachtete Erscheinung, daß die erhalten gebliebenen, von der Verwitterung schon abgerundeten Feldspate durch neu zugeführten Stoff wieder gewachsen sind. Ein alter Kristallkern wird von einer Randzone frisch gebildeten Feldspats umgeben, und zwar ist, was die Sache besonders interessant macht, der neu entstandene Rand, in gesetzmäßiger Weise der Kristallform des alten Feldspats entsprechend, diesem angewachsen. Häufiger als beim Feldspat beobachtet man

die entsprechende Erscheinung beim Quarz gewisser Sandsteine, die man wegen dieser Eigentümlichkeit als Kristallsandsteine bezeichnet (Abb. 142).

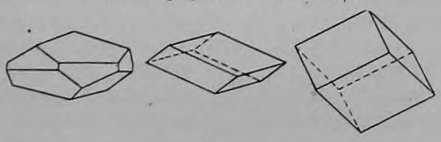
Zwischen Arkosen und Sandsteinen besteht kein grundsätzlicher Unterschied, sie sind durch alle denkbaren Zwischenformen verbunden. War die Hauptmasse des Feldspats vor der Wiederverfestigung zersetzt und verschwunden, so entstand ein vornehmlich aus Quarzkörnern gebildetes Trümmergestein, der gewöhnliche, infolge seines häufigen Vorkommens allgemein bekannte Sandstein. Eine so weitgehende Auflösung des Feldspats erfordert selbstverständlich lange Zeiträume, daher werden sich Sandsteine in der Regel ziemlich weit von den Granit- oder Gneismassiven ablagern, aus deren Zerstörung sie hervorgegangen sind.

Wir haben die Lebensgeschichte eines Granits vom Anfang bis zum Ende verfolgt. Aus dem Schoß des glühend-flüssigen Magmas geboren, erstarrt der Granit in den Tiefen der Erdrinde zu gewaltigen Massiven, die in dem steinernen Gebäude gleichsam die festen Grundmauern, Eck- und Stützpfeiler abgeben. Aber sie sind keineswegs geschützt vor Verfall und Zerstörung. Von oben wie von unten sind feindliche Kräfte emsig bemüht, zu ihnen vorzudringen. In der Tiefe nagen an ihrem Gefüge die Mächte des Vulkanismus; Gase und Dämpfe, überhitzte Lösungen, heiße Gewässer wirken in hohem Grade zersetzend und umbildend, wo immer sie auf ihren Bahnen ein Gestein erreichen. Kaolin- und Speckstein-bildung, Verglimmerung des Granits, ferner die merkwürdigen Metamorphosen, die er in der Nachbarschaft der Zinnerzgänge erleidet, lassen sich am ungezwungensten aus vulkanischen Einflüssen erklären.

Von oben her übt die atmosphärische Verwitterung, deren Träger zunächst die in den Boden einsickernden Gewässer sind, langsam, aber sicher ihre auflösende Tätigkeit aus. Ein mächtiger Helfer erwächst ihr in der Abtragung. Im Lauf der Jahrtausende werden die schützenden Hüllen der Granitmassive bis auf den letzten Rest entfernt; der grobe Schutt bleibt in den Tälern liegen, das feine Material strömt in den Flüssen dem Meere zu. Ungehindert vermag jetzt die Verwitterung Bresche auf Bresche zu legen in den stolzen Bau der Granitgebirge. Seltsame Formen entstehen, in den Hochgebirgen senkrechte, tausend und mehr Meter abstürzende Wände oder — je nach dem Gefüge des Gesteins — wild zerrissene Grate, von denen kühne Felsnadeln in die Lüfte ragen, in den Mittelgebirgen die merkwürdigen Felsenmeere, wilde Blockmassen, plattige Felszinnen und malerische Gruppen riesenhafter Säulen. Aber alle diese wunderbaren Formen sind nur vorübergehende Erscheinungen. Die Kräfte, die sie schufen, arbeiten unablässig daran, sie wieder zu zerstören. Die Zeit wird kommen, da die Granittürme unserer Mittelgebirge ebenso spurlos vom Boden vertilgt sind wie ihre viel stolzeren und gewaltigeren Brüder, die „Nadeln" der Savoyer Alpen.

Bildungsgeschichte der Kalksteine.

Gewöhnlicher, dichter Kalk ist ein so verbreitetes Gestein, seine Verwendung so bekannt und alltäglich, daß auf eine Beschreibung seines Äußeren wohl verzichtet werden darf.



a b c

Abb. 143. Einige der häufigsten Kalkspatformen.

a) Rhomboeder mit Prisma kombiniert; b) Rhomboeder allein; c) das Grundrhomboeder, als Kristall selten, aber durch Spaltung aus jedem Kalkspat leicht herzustellen.

Im Gegensatz zum Granit ist der Kalk ein dichtes Gestein, d. h. in der gleichförmigen, einheitlichen Masse vermag das unbewaffnete Auge die einzelnen Mineralkörner nicht mehr zu unterscheiden. Wer Näheres über seine Zusammensetzung erfahren will, muß das Mikroskop zu Hilfe nehmen. Da ergibt sich, daß Kalk ein einfaches Gestein ist und nur aus einem einzigen Mineral, dem Kalkspat, besteht. Dies ist kohlensaurer Kalk, eine Verbindung des Erdmetalls Kalzium mit Kohlensäure. Kalkspatkristalle, meist von Prismen- oder Rhomboederform (Abb. 143), bilden sich leicht in Spalten und Höhlungen aller möglichen Gesteine, jede Mineraliensammlung besitzt davon prächtige Schaustücke. Man darf aber nicht glauben, daß ein Kalkstein aus solchen oder ähnlichen Kristallen aufgebaut sei. Wo der nötige, freie Raum fehlt, können sich keine Kristalle entwickeln, die mineralischen Stoffe scheiden sich dann in Form ganz willkürlich umgrenzter Körner aus. Ein inniges,

fest zusammengeschweißtes Gefüge höchst winziger Kalkspatkörnchen ist im wesentlichen das, was man einen Kalkstein nennt.

Fragen wir nun nach der Bildungsgeschichte der Kalke, so ist das Allgemeinste, was man antworten kann: Kalke entstehen im Wasser. Ob etwa dieser Satz gewisse seltene Ausnahmen zuläßt, steht noch nicht unbedingt fest. Jedenfalls ist er die Regel, wenn auch eine Regel voll erstaunlicher Mannigfaltigkeit.

Für die große Mehrzahl der Kalke gilt, daß sie marinen und organischen Ursprungs, d. h. aus Schalen und anderen Skeletteilen meeresbewohnender Organismen entstanden ist. Die Kalksteinbildung geht auch in den Meeren der Gegenwart unablässig vonstatten, wesentlich auf zweierlei Art und Weise. Zunächst entstehen am Grunde der Meere lockere Zusammenhäufungen der kalkigen Skelettreste verstorbener Organismen. Hierher gehört z. B. der Globigerinenschlick, der aus unzähligen, allerwinzigsten Schälchen gewisser Foraminiferen sich zusammensetzt, ferner die aus dem zerkleinerten Material aller möglichen Weichtierschalen aufgebauten Muschelsande. Zweitens aber bauen im Meer gewisse lebende Tiere fest zusammenhängende Massen, „Stöcke" oder „Riffe", auf. Die Korallen- und Spongienriffe, die Austernbänke sind Beispiele für diese Art der Bildung „moderner" Kalkabsätze.

Indessen sind Globigerinenschlick, Muschelsande, Korallenriffe und Austernbänke durchaus keine fertigen Kalksteine, sondern nur die Vorstufen zu solchen. Sie werden erst „versteint" durch chemische Umsetzungen, die im Meereswasser vor sich gehen (bald Auflösung, bald Fällung gewisser Bestandteile). Dabei scheinen manchmal Bakterien eine wichtige Rolle zu spielen.

Die Geologen bezeichnen derartige Vorgänge, wie überhaupt alle Gesteinumwandlungen, an denen weder vulkanische Kräfte noch hoher Druck und hohe Temperatur beteiligt sind, als Diagenese. Der Diagenese steht gegenüber die Metamorphose, deren Zustandekommen durch vulkanische Kräfte, nach der Lehre des Dynamometamorphismus (S. 142) auch durch Gebirgsdruck und die hohe Temperatur des Erdinnern bedingt wird. Die Diagenese schafft aus einer sedimentären Ablagerung (z. B. Kalkschlamm) ein Gestein, die Metamorphose wandelt ein fertiges Gestein in ein anderes um (z. B. Granit in Porzellanerde, Tonschiefer in Hornfels) oder verleiht zum wenigsten einem Gestein neue, bemerkenswerte Eigenschaften (Beispiel: Umkristallisation eines gewöhnlichen, dichten Kalksteins zu körnigem Marmor).

Bevor wir die Tätigkeit der Diagenese, ihre Kräfte und Hilfsmittel näher kennen lernen, müssen wir uns genauer über die Entstehung jener Schlamm- und Schlickmassen unterrichten, die sie im Lauf der Zeit zu festem Kalkstein umformt.

1. Tiefseeschlamm und Foraminiferenkalke.

Der Boden der Ozeane, namentlich des Atlantischen, wird in Tiefen von etwa 2500 bis 4500 Metern*) von einem kalkreichen, grauen oder gelblichen Schlamm bedeckt, den man als Globigerinenschlick bezeichnet, weil Schälchen der Globigerinen (Abb. 144) und nahe verwandter Kammerlinge seinen Hauptbestandteil ausmachen. Daran aber schließt sich eine lange Reihe anderer Bestandteile: Bruchstücke der Schalen von Mollusken, Korallen, Moostierchen, Seeigeln, kieselige Skelette oder Skeletteile von Radiolarien, Diatomeen, Schwämmen, dann auch kleine Splitter verschiedener Mineralien, oftmals etwas roter Ton sowie ein wechselnder Gehalt allerwinzigster, feinverteilter Kalkstäubchen, über deren Herkunft sich nichts Sicheres sagen läßt. Die meisten dieser Körperchen findet der Leser auf Abb. 145 wieder, die ihm eine charakteristische Probe Tiefseeschlamm aus dem Atlantischen Ozean vorführt.

Abb. 144 Globigerinenschälchen aus dem Miozän.

Die rätselhaftesten Gebilde darin sind die oft massenhaften Kokkolithen und Kokkosphären und die selteneren Rhabdolithen (Abb. 146), beides Kalkkörperchen von äußerst geringen Dimensionen (höchstens $^1/_{100}$, oft nur $^1/_{1000}$ bis $^1/_{2000}$ Millimeter groß). Während die Rhabdolithen stab-, kreuz- oder keulenförmige Gestalten besitzen, sind die Kokkosphären kugelige Gebilde, die rings von rundlichen, wie Dachziegel sich deckenden Kalkplättchen umgeben werden (Abb. 146 E). Wenn die Kokkosphären zerfallen, wachsen diese Kalkplättchen zu Kokkolithen aus, die aus zwei nach Art eines

*) In noch bedeutenderen Tiefen herrscht im allgemeinen ein sehr kalkarmer Schlamm, der sogenannte Rote Ton vor. Enthält dieser reichliche Kieselskelette von Radiolarien, so spricht man von „Radiolarienschlick".

Manschettenknopfes miteinander eng verbundenen Scheibchen bestehen (Abb. 146 C).

Manche Gelehrte halten diese winzigen Kalkgebilde für einzellige Algen, andere stellen sie zu den Geißelinfusorien. Es können möglicherweise auch anorganische Formen sein, die infolge Einwirkung des bei der Verwesung tierischer Reste gebildeten Ammoniaks aus dem Meerwasser sich abscheiden (Hartwig).

In der Hauptsache setzen also Schalen und Skeletteile meeresbewohnender Tiere und Pflanzen den Globigerinenschlick zusammen, zum kleineren Teil mineralische Fragmente, welche die Brandung von felsigen Küsten abgewaschen hat, oder die Flüsse ins Meer geschwemmt haben.

Abb. 145. Globigerinenschlick aus großer Tiefe des Atlantischen Ozeans (bei Ascension), etwa 100 mal vergrößert. (Phot. v. d. Trappen.)

Aber damit sind seine Bestandteile noch nicht erschöpft. In allen Ablagerungen der Tiefsee trifft man auch gewisse Mengen vulkanischer Asche, deren Allgegenwart nicht überraschen kann, wenn man bedenkt, daß der bei vulkanischen Ausbrüchen emporgeschleuderte Staub oft Hunderte, ja Tausende von Meilen durch die Luft fortgeführt wird, bevor er sich zu Boden senkt. Endlich kommen am Grunde des Meeres auch Stäubchen kosmischer Herkunft vor, winzige Kügelchen von der Beschaffenheit des Meteoreisens.

Den Charakter eines Foraminiferenschlamms besitzen viele Kalksteine und Mergel aus älteren und jüngeren Erdepochen; so sind z. B. die aus der Steinkohlenzeit stammenden,

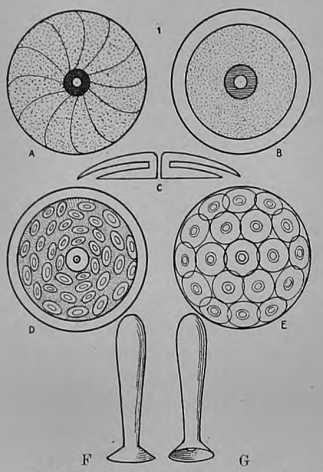


Abb. 146. Kokkolithen und Rhabdolithen, sehr stark vergrößert. (Nach Steinmann.)
A Ein Kokkolith von oben, B von unten, C im Durchschnitt, D Kokkosphäre im embryonalen, E im ausgewachsenen Zustand, F, G ein Rhabdolith von verschiedenen Seiten.

sehr festen Kalke Südrußlands größtenteils aus Schälchen der spindelförmigen Fusulinen (Abb. 147) aufgebaut, während manche alttertiäre Kalksteine des Pariser Beckens vorwiegend aus Milliolaschälchen, andere aus Nummuliten bestehen. Abb. 148 zeigt ein Stück Nummulitenkalk im Querschnitt.

Wir brauchen aber gar nicht nach Frankreich, Rußland oder den Karpathen zu wandern, um „versteinten" Foraminiferenschlamm kennen zu lernen, schon die deutsche Ostseeküste bietet uns dazu Gelegenheit. Überall, wo die lockere, weiße Schreibkreide auftritt*) — bekannt sind vor allem die malerischen Klippen der Insel Rügen (Stubbenkammer) — zeigt sie die charakteristische Zusammensetzung der kalkigen Schlammassen, die sich am Boden der heutigen Weltmeere bilden. Alle Bestandteile:

*) Größere Lager von Schreibkreide gibt es auch auf Wollin, ferner auf dänischen Inseln, z. B. Seeland. Noch ausgedehnter sind die Kreidelager zu beiden Seiten des Ärmelkanals, im südlichen England (Brighton, Dover) und an der gegenüberliegenden Küste Nordfrankreichs. Hier und an anderen Punkten bildet die Kreide zum Teil großartige Felspartien mit steilen Abstürzen.

Foraminiferenschälchen, Diatomeen, Radiolarien, Kokkolithen, Bruchstücke von Muscheln usw., finden sich darin wieder. Die Übereinstimmung ist so vollkommen, daß man an der gleichartigen Entstehungsweise nicht im mindesten zweifeln kann.

Abb. 147. Fusulina cylindrica (a ein Stück Fusulinenkalk, b einzelne Schale vergrößert).

Nur einen Bestandteil hat die urweltliche Schreibkreide vor dem Tiefseeschlamm der Jetztzeit voraus: die Feuersteinknollen. Feuerstein ist eine sehr feinkristallinische, dem bloßen Auge ganz dicht erscheinende Varietät der Kieselsäure, also dem Quarz nahe verwandt. Er bildet dunkle, oft bizarr gestaltete Knollen, die sich gewöhnlich lagenweise in den Kreideschichten einstellen und manchmal wie schwarze Perlschnüre auf dem weißen Grunde hervortreten. Die oft stark gewundene Schichtung der Kreide wird auf diese Weise außerordentlich schön sichtbar gemacht.

Die meisten Feuersteinknollen enthalten auch etwas Wasser und Spuren organischer Substanz. Ihre Entstehung bietet manches Rätselhafte. Zum Teil sind sie nach F. Walther nichts anderes als versteinerte Schwämme, aber viele Knollen enthaltend — ähnlich den Oolithen (S. 35) — nur im Kern eine oder mehrere Versteinerungen, sind also in der Hauptsache mineralische Bildungen, sogenannte Konkretionen. Man nimmt an, daß die Kreide von Kieselquellen durchtränkt war, aus denen an einzelnen Stellen Kieselkugeln sich abschieden. Als erste Ansatzpunkte der Verkieselung dienten organische Reste im Innern der Versteinerungen. Durch fortschreitenden Absatz der Kieselsäure wuchsen die Knollen und umhüllten schließlich die Versteinerung ganz und gar, so daß sie jetzt als Kerne der Feuersteinkonkretionen erscheinen.

Durch ähnliche Vorgänge könnte auch ein ganzes Lager kalkigen Tiefseeschlamms in festes Gestein verwandelt werden. In der Tat sind Kieselkalke, d. h. von verteilter Kieselsäure durchtränkte Kalksteine, durchaus keine seltenen Vorkommnisse. Manche dieser Felsarten enthalten nahezu fünfzig Prozent Kieselsäure.

In diesem Fall würde also der lockere Schlamm durch Verkieselung zu festem Gestein. Von Diagenese dürfen wir hier allerdings nicht reden. Denn die Kieselsäure kann kaum auf anderem Wege in die Kalke gelangt sein als durch heiße, kieselhaltige Gewässer, die den Kalk zum Teil lösten und fortführten und an seiner Stelle Kieselsäure absetzten, — das wäre aber ein Vorgang, der unter den Begriff „Metamorphose" fiele.

Zudem ist die große Mehrzahl der Kalksteine ganz unverkieselt, ja die meisten zeigen überhaupt gar keine Spuren eines Bindemittels, das die Schlammteilchen verkittet und verfestigt haben könnte. Bei ihrer Versteinung müssen

Abb. 148. Nummulitenkalk von Eisenbach in Ungarn, vergrößert. (Phot. v. d. Trappen.)

Vorgänge ganz anderer Art wirksam gewesen sein. Man könnte an einfaches Austrocknen denken. Im Lauf der geologischen Zeiträume ist es häufig vorgekommen, daß ausgedehnte Gebiete des Meeresbodens trockengelegt wurden. Aber nach den Beobachtungen, die man am Globigerinenschlamm der Jetztzeit gemacht hat, kann auf solche Art nie und nimmer Kalkstein entstehen. Globigerinenschlick wird beim Trocknen zu Staub und Pulver.

Auch das Faktotum mancher Geologen, der Gebirgsdruck, kann uns hier nichts helfen.

Wohl mag die Schieferung vieler Gesteine durch Gebirgsdruck entstanden sein, aber die Annahme, daß er lockere Massen von Sand, Schlamm und dergleichen zu kompaktem Gestein umformen kann, wird durch keine in der Natur gemachten Beobachtungen unterstützt. Die Tiefseesedimente der Gegenwart besitzen trotz des gewaltigen Wasserdrucks, dem sie seit undenklicher Zeit ausgesetzt sind, meist ganz weiche und lockere, zum Teil geradezu dünnflüssige Beschaffenheit.

So läßt uns die Wissenschaft auch hier wieder im Stich? Die Geologie ist nicht imstande, die Bildung eines gewöhnlichen, alltäglichen Kalksteins zu erklären?

Nun, ganz so schlimm steht es nicht, wenn auch die Vorstellungen, die man sich macht, noch wenig geklärt scheinen.

Wahrscheinlich ist die Versteinung des Tiefseeschlammes das Ergebnis einer ganz allmählich verlaufenden, sehr lange Zeiträume beanspruchenden Umkristallisation seiner kalkigen Bestandteile. Dadurch wird der bislang zusammenhanglose Schlamm zu einem feinsten Mosaik eng aneinanderschließender Kalkspatkriställchen. Daß eine Umkristallisation wirklich stattgefunden hat, erweist die mikroskopische Untersuchung, fast alle marinen Kalksteine tragen ihre Anzeichen deutlich zur Schau. Sie scheint in den meisten Fällen erst geraume Zeit nach dem Absatz, vielleicht erst nach erfolgter Trockenlegung des Meeresbodens, unter dem Einfluß des Sickerwassers, vor sich gegangen zu sein. Zweifellos kann aber ausnahmsweise auch schon am Meeresgrund, durch noch ungenügend bekannte chemische Vorgänge, eine rasche Verhärtung der neu gebildeten Sedimente erfolgen. Von zahlreichen Stellen des Grundes im Mittelländischen und im Roten Meer hat man mit dem Schleppnetz (englisch: dredge) Steinplatten heraufgeholt, die vorwiegend aus kohlensaurem Kalk bestehen und offenbar erst kürzlich entstanden sind. „Diese Steinkrusten", schreibt Konrad Natterer, der bekannte Wiener Geograph, „sind oft von bedeutender Stärke, sie haben bei den Dretschungen das Zerreißen manchen Netzes und das Verbiegen des aus starken Eisenteilen gefertigten Netzrahmens bewirkt." In der Nähe der Bermuda-Inseln wurden aus einer Tiefe von 24—30 Faden feste, kugelige Kalkknollen gedretscht, die in einem weichen Kalkschlamm von der gewöhnlichen Beschaffenheit steckten. Ähnliche, doch ganz unregelmäßig und eckig gestaltete, sehr harte Kalkstücke wurden auch von dem deutschen Expeditionsschiffe Valdivia auf der Seine-Bank, unweit Madeira, in etwa 150 Metern Tiefe entdeckt.

In allen diesen Fällen geschah die Verfestigung zweifellos durch Abscheidung (Ausfällung) von Kalk auf chemischem Wege, ein Vorgang, den man sich auf folgende Weise erklärt. Wenn im Meere organische Stoffe in Fäulnis übergehen, so entstehen Ammonium- und Natriumsalze; diese besitzen, wie experimentell nachgewiesen wurde, die Fähigkeit, kohlensauren Kalk aus dem Meerwasser in fester Form abzuscheiden. Wo sich nun am Meeresgrunde reichliche Mengen verwesender Tier- und Pflanzenkörper anhäufen, können recht wohl Verhältnisse eintreten, die zur Bildung der vorhin erwähnten Kalkkrusten und Knollen führen.

2. Muschelbänke und Algenkalke.

Von der Tiefsee wenden wir uns zur Flachsee, unter der man die Meeresteile bis zu einigen hundert Metern Tiefe versteht. Muschelsande und Schalenbreccien sind hier sehr verbreitete Kalkablagerungen. Sie bestehen aus den größtenteils zertrümmerten und zerriebenen Schalen aller möglichen Muscheln und Schnecken, aus Bruchstücken der Skelette von Korallen, Schwämmen, Stachelhäutern usw. Bei ihrer Bildung spielen nach J. Walther die Raubfische und Raubkrebse am Meeresboden eine sehr wesentliche Rolle. „Sie zerbeißen und zerknacken alle Muschelschalen, Schneckengehäuse, Echinodermenskelette, Krebspanzer, um aus denselben mit ihren Kaufüßen die letzten Reste Fleisch herauszuholen. Dadurch erzeugen sie einen scharfkantigen Muschelsand, der, in wohlgeschichteten Lagern aufgehäuft, isolierte Kalkinseln in Sand- oder Schlammregionen bildet."

Besonders reich an Muschelbänken ist der Ärmelkanal. Die meisten der dortigen Lager liegen in Zügen parallel der französischen oder englischen Küste.

Eine andere Gruppe Kalksteine verdankt ihre Entstehung der kalkabscheidenden Tätigkeit gewisser Algen. In den geologisch jungen Zeiten treten als Felsbildner namentlich die sogenannten Steinalgen auf, deren Thallus (Sproß) aus einem dichten Gewebe zahlreicher, kleiner, würfelförmiger oder parallelepipedischer Zellen besteht. Die Wände dieser Zellchen verhärten durch Ausscheidung kohlensauren Kalkes, so daß steinartige, scheinbar anorganische Gebilde entstehen. Der bekannteste Vertreter ist die Gattung Lithothamnium, von deren äußerem Bau Abb. 149 eine Vorstellung geben mag.

In der Flachsee der wärmeren Meere, z. B. im Golf von Neapel, bauen Lithothamnium-Arten noch heutzutage mächtige Kalklager auf. Auch an den Küsten der Bretagne bilden sich gegenwärtig Algenkalke, die von der Strandbevölkerung gefischt und zum Düngen der Felder verwendet werden (J. Walther).

In tertiären Ablagerungen sind Lithothamniumkalke recht verbreitet. Besonders merkwürdig seines granitartigen Aussehens wegen, das ihm den Namen „Granitmarmor" verschafft hat, ist der alttertiäre Algenkalk von Neubeuern im Unterinntal. Ihn setzen fast ausschließlich die kalkigen Zellwände jener Organismen, bzw. deren Bruchstücke zusammen, die Lücken füllt allerfeinster Kalkschlamm aus. Die granitartige Zeichnung wird durch Glaukonitflecken*) hervorgebracht.

Die Lithothamnien, deren versteinerte Reste früher „Nulliporen" genannt und für tierische Überbleibsel gehalten wurden, gehören, wie die Steinalgen überhaupt, zu den Rotalgen (Rhodophyzeen oder Florideen), deren Zellen einen roten Farbstoff, das Phykoerythrin, enthalten. Diese rote Substanz verdeckt bei ihnen vollständig den allen Algen gemeinsamen grünen Farbstoff, das Chlorophyll, daher die Florideen im frischen Zustand gewöhnlich rot oder violett gefärbt sind.

Den Rotalgen gegenüber stehen die Grünalgen, bei denen das Chlorophyll der alleinherrschende Farbstoff ist. Eine Ordnung dieser Grünalgen bilden die Schlauchalgen (Siphoneen), deren Körper je aus einer einzigen, schlauchförmigen Zelle bestehen. Auf der Außenseite der Zellhaut scheiden viele Arten eine Hülle von kohlensaurem Kalk aus, welche die Erhaltung dieser Pflänzchen im versteinerten Zustande ermöglicht.

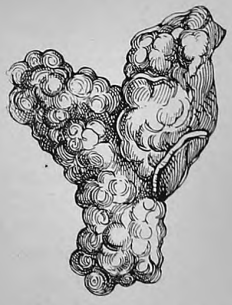


Abb. 149. Lithothamnium gosaviense (Thallus) aus dem Senon. (Nach Steinmann.)

In den älteren geologischen Epochen sind die Schlauchalgen als felsbildende Organismen von großer Bedeutung gewesen, z. B. zur Triaszeit die Diploporen und Gyroporellen, die in den Alpen und im Apennin stellenweise in ungeheuren Mengen auftreten. So wird der besonders im Wettersteingebirge, im Karwendel und Kaisergebirge verbreitete Wettersteinkalk an manchen Orten fast ausschließlich von Gyroporellen aufgebaut. Das berühmte Gebirgspanorama des Garmisch-Partenkirchner Talkessels ist vorzüglich geeignet, dem Beobachter einen Begriff von der gewaltigen Mächtigkeit dieser Algengesteine zu vermitteln. Die majestätischen Wände des Wetterstein, die zerklüfteten Grate und schroffen Felsspitzen von der Zugspitze bis zum Waxenstein und Hochblassen bestehen fast durchweg aus Algenkalk. Am Gipfel der Zugspitze wie an vielen anderen Stellen kann jeder Bergsteiger das massenhafte Auftreten winziger, gegliederter Röhren im Kalk beobachten, die einer Schlauchalge, der Diplopora annulata, zugehören (vgl. Abb. 150).

Abb. 150. Diplopora annulata. Alpine Trias.

In den Südtiroler Alpen stellt der sogenannte Schlerndolomit eine dem Wettersteinkalk ähnliche und gleichwertige Bildung dar (Rothpletz). Nicht die obersten Schichten des Schlernplateaus, wohl aber die Flanken des Schlerns gegen das Tschamintal, die Roßzähne, ferner die gewaltigen Massen des Rosengartens bestehen aus einer Felsart, an deren Aufbau Kalkalgen sehr stark beteiligt sind.

Wie aber konnte ein dichtes, im allgemeinen kompaktes Gestein, wie der Wettersteinkalk, aus Algenrissen oder Algenbänken hervorgehen, die doch im frischen Zustande eine poröse, zellige Beschaffenheit besitzen? Ferner: nicht überall enthält der Wettersteinkalk Reste von Kalkalgen, vielmehr sind oft mächtige Bänke nahezu versteinerungsleer.*) Wie erklärt sich dieser Wechsel?

Diese Frage hat J. Walther in geistreicher Weise zu lösen versucht.

Wie allgemein bekannt, bildet einen Hauptbestandteil des Pflanzenkörpers die Zellulose, ein Kohlehydrat von gleicher Zusammensetzung wie die Stärke. Die Wände junger Pflanzenzellen bestehen der Hauptsache nach aus Zellulose, die jedoch im Lauf der Entwicklung mancherlei Veränderung erleidet, indem sich zwi-

*) Glaukonit ist ein lebhaft grün gefärbtes, in chemischer Hinsicht den Glimmern nahestehendes Silikat, das in marinen Sedimenten recht häufig, stellenweise massenhaft, vorkommt. Seine Entstehung ist noch unerklärt.

*) Gewisse Lagen des Wettersteinkalkes sind nicht pflanzlichen, sondern tierischen Ursprungs: sie sind aus Korallenbänken hervorgegangen. Von der Entstehung der Korallenkalke wird weiter unten die Rede sein.

schen ihre kleinsten Teile fremde Stoffe einlagern. Wie nun Hoppe-Seyler gezeigt hat, kann der Zellstoff unter dem Einfluß gewisser Bakterien einem Gärungsvorgang unterliegen, der Methan (Sumpfgas) und Kohlensäure liefert.

Nehmen wir an, daß ein Algenkalk von solcher Gärung ergriffen wurde — Bakterien finden sich in den geringen Meerestiefen, wo Algen gedeihen (bis etwa 400 Meter), noch in ungeheuren Mengen —, so mußte das im Wasser schwer lösliche Sumpfgas nach oben entweichen, die leichter lösliche Kohlensäure aber vom Meerwasser in beträchtlicher Menge aufgenommen werden, so daß nunmehr der ganze Algenkalk von kohlensäurereichem Wasser durchtränkt war. Unter dessen Einfluß vollzog sich, ähnlich wie bei den aus Tiefseeschlamm verhärteten Kalken, eine ganz langsame Umkristallisation, die das zellige, poröse Kalkgewebe allmählich in einen dichten Kalkstein verwandelte, der mit keiner Spur mehr seinen organischen Ursprung verrät.

Diese Theorie der „endogenen", d. h. im Gestein selbst entstandenen, nicht von außen zugeführten Kohlensäure erklärt die auffällige Wechsellagerung zwischen strukturlosen, versteinerungsleeren Kalkbänken und solchen, die fast ausschließlich aus organischen Resten (Kalkschalen) bestehen. Denn es konnten natürlich nur diejenigen Schichten umkristallisieren, in denen der oben geschilderte Gärungsprozeß stattfand, d. h. wo die den ganzen Vorgang einleitenden spezifischen Bakterien vorhanden waren.

3. Schwamm- und Korallenkalke.

Während als kalksteinbildende Pflanzen ausschließlich gewisse Algen von Bedeutung sind, liefert das Tierreich eine ganze Reihe Organismen, die sich am Aufbau der Erdkruste aktiv betätigen. In Kolonien zusammenlebend, bauen sie vom seichten Meeresgrund an kalkige „Stöcke" auf, die allmählich fast bis zur Meeresoberfläche emporwachsen. Da die meisten stockbildenden Organismen nur im Seichtwasser lebensfähig sind, ihre Wirkung also auf einen vertikal ziemlich eng begrenzten Raum beschränkt ist, sollte man erwarten, daß ihre Bauten nur geringe Höhe und Mächtigkeit aufwiesen. Wenn sie trotzdem in manchen Gegenden (z. B. die Korallenbauten in der Südsee) zu mehrere hundert Meter hohen Riffen entwickelt sind, so liegt dies wahrscheinlich daran, daß ihr Untergrund, der Meeresboden, ganz allmählich in die Tiefe sank. Die untersten Partien des Riffs wurden dadurch unbewohnbar für die Tiere und starben ab, während oben, dicht unter dem Meeresspiegel, immer wieder neuer Raum zur Weiterentwicklung der Kolonie verfügbar wurde. Die Folge war ein ständiges Höherwachsen der Riffe, die schließlich zu wahrhaften, aus der Tiefsee emporsteigenden Bergen wurden (sogenannte Darwinsche Theorie der Korallenriffbildung).

Auch Schwämme (Spongien) und Moostierchen (Bryozoen) treten stockbildend auf, erreichen aber für den Aufbau der Sedimente bei weitem nicht die Bedeutung der Korallen. Mächtige Ablagerungen von Korallenkalk sind fast aus allen geologischen Formationen bekannt, während Bryozoen hauptsächlich im Zechstein, Kalkschwämme im oberen Jura riffbildend erscheinen. Ein vorzügliches Beispiel des riffartigen Auftretens der Schwammkalke liefert das schon früher (S. 36) beschriebene und abgebildete „Spongienriff" aus dem weißen Jura der Schwäbischen Alb. Man erkennt deutlich, wie der massige Schwammkalk (R) die horizontal gelagerten Juraschichten (α, β, γ) stockförmig durchsetzt.

In entsprechender Lagerung kommen mancherorts auch Korallenkalke vor.

Nun bestehen aber Korallen- und Schwammkalke keineswegs ausschließlich aus versteinerten Korallen, bzw. Schwämmen, vielmehr finden sich in beiden reichlich Reste anderer Tiere, ferner sind alle Zwischenräume von feinem Kalksand und -schlamm ausgefüllt. Woher kommen diese Bestandteile? Wie entsteht aus einer lebenden Korallen- oder Spongienkolonie ein „toter" Kalkstein?

Am sichersten lassen sich diese Fragen heute für die Korallenkalke beantworten. Zahlreiche Beobachter haben ihren Aufbau gründlich studiert und sind zu bemerkenswerten Ergebnissen gelangt, deren wichtigste der Leser im folgenden kennen lernen soll. Vorher aber kann es nicht schaden, wenn wir uns ein wenig mit dem Korallentier, dem lebenden Bewohner jeder Einzelkammer des volkreichen Stocks, beschäftigen.

Die Korallen gehören ebenso wie die Schwämme zu den Zölenteraten (Hohl- oder Pflanzentieren). Diese bilden den zweitniedrigsten, unmittelbar auf die Urtiere (Protozoen) folgenden Stamm des Tierreichs und tragen den Namen Pflanzentiere, weil sie der Mehrzahl nach wie Pflanzen auf dem Boden festgewachsen sind und durch Knospung busch- oder rasenförmige Kolonien zu bilden vermögen. Unbeschadet dieser sitzenden Lebensweise sind die Zölenteraten echte Tiere, keineswegs Übergangs-

formen zwischen tierischen und pflanzlichen Organismen, wie vielleicht aus der Bezeichnung „Pflanzentiere" geschlossen werden könnte.

Der Körper der Zölenteraten ist vielzellig, von radialsymmetrischem Bau und enthält ein einziges zusammenhängendes Hohlraumsystem, das zugleich Leibeshöhle, Darm, Magen und Gefäßsystem vertritt. Es öffnet sich nach außen in einer einzigen Öffnung (dem Munde). Man unterscheidet gewöhnlich zwei Hauptgruppen der Pflanzentiere: Schwämme und Nesseltiere, letztere ausgezeichnet durch weit vollkommenere Entwicklung der Nerven, Muskeln und Sinnesorgane. Weitere Besonderheiten der Nesseltiere sind ihre Tentakeln (Fühler), die im Umkreis der Mundöffnung stehen, und die Nesselzellen. Während den Tentakeln die Aufgabe zufällt, nach Beute zu tasten und sie zu erfassen, dient die in den Nesselkapseln enthaltene ätzende Flüssigkeit zum Abtöten der erbeuteten

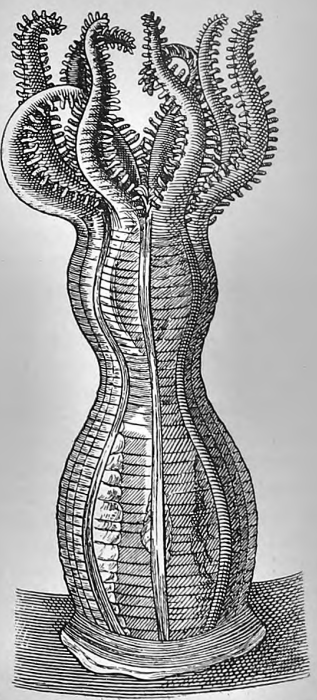


Abb. 151. Monoxenia Darwinii, ein Korallenpolyp, stark vergrößert.

Tierchen. Die Korallen bilden eine Unterabteilung der Nesseltiere.

Ein Korallenpolyp hat, wie Abb. 151 zeigt, die Form eines zylindrischen Schlauches, dessen breites, offenes Ende von den Tentakeln umstellt ist. Mit dem entgegengesetzten, geschlossenen Ende sind die Tiere festgewachsen, doch gibt es auch einige freischwimmende Formen.

Das Skelett der Korallen kann ungemein verschiedenartige Formen annehmen. Im einfachsten Falle ist es ein unten geschlossener Zylinder oder Trichter, aus dem nur das obere Körperende des Polypen hervorschaut (Abb. 152).

Bei den meisten Korallen bekommen diese Einzelgehäuse einen sehr verwickelten Bau dadurch, daß sich im Innern wagerechte Querböden, senkrechte Kalkblätter (die „Septen" oder „Sternleisten"), eine in der Achse der Röhre aufsteigende „Säule" und noch andere Gebilde abscheiden. Manche Gattungen leben einzeln, bei den meisten aber verschmelzen die individuellen Gehäuse zu „Stöcken" (Kolonien), unter denen ein erstaunlicher Formenreichtum herrscht. Bald breiten sie sich kriechend nach Art eines Rasens aus, bald erheben sie sich busch- oder baumförmig, zierlich und reich verzweigt, bald sind es Becher, Schirme, Röhrenbündel, Halbkugeln oder unförmliche Knollen. Wer jemals eine größere Korallensammlung besichtigte, weiß, daß die Natur ihre formschöpfende Kraft im Reich der „Blumenpolypen" in der großartigsten Weise betätigt.

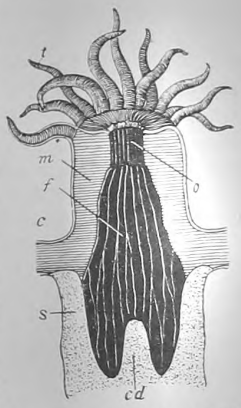


Abb. 152. Längsschnitt durch eine Koralle (Astroides calycularis). Das Kalkskelett punktiert (s Septen, cd Säule), die Weichteile schraffiert, die Leibeshöhle schwarz. (Nach Steinmann.)

Unter den Riffkorallen herrschen gewöhnlich die ästigen, porösen Stöcke der Gattung Madrepora bei weitem vor (Abb. 153), während massive, knollige oder rasenartige Formen (Porites, Coeloria u. a.) eine mehr untergeordnete Rolle spielen.

Oben wurde schon angedeutet, daß Korallenriffe nur zu einem kleinen Teil aus lebenden Stöcken bestehen. Nur in den äußeren, nicht zu tief gelegenen Partien vermögen die Tiere zu gedeihen. Die Hauptmasse des Riffs, namentlich die unteren und die mittleren Teile, sind abgestorben und durch Diagenese verändert. Die poröse, feinzellige Struktur der Skelette ist infolge der beständigen Durchsickerung mit kalkhaltigem Wasser bis auf geringe Spuren

verschwunden und hat einer dichten, kristallinischen Beschaffenheit Platz gemacht. Die Umwandlung des Korallenstocks in einen Kalkstein ist damit eingeleitet.

Aber auf einem Korallenriff leben keineswegs ausschließlich Korallentiere. In den kleinen und kleinsten Lücken zwischen den Ästen der Korallen findet ebenso wie in den großen, tiefen Höhlen, die das Riff nach allen Seiten durchziehen, eine reichhaltige Lebewelt ihr Gedeihen. Fast alle Beobachter heben die erstaunliche Menge der Kalkalgen hervor, die bald den Korallenfels krustenartig überziehen, bald die Vertiefungen zwischen den Ästen ausfüllen. Sie überwuchern die abgestorbenen Teile der Stöcke vollständig und wachsen hier oftmals zu meterdicken Bänken aus. Keeling-Atoll, ein bekanntes

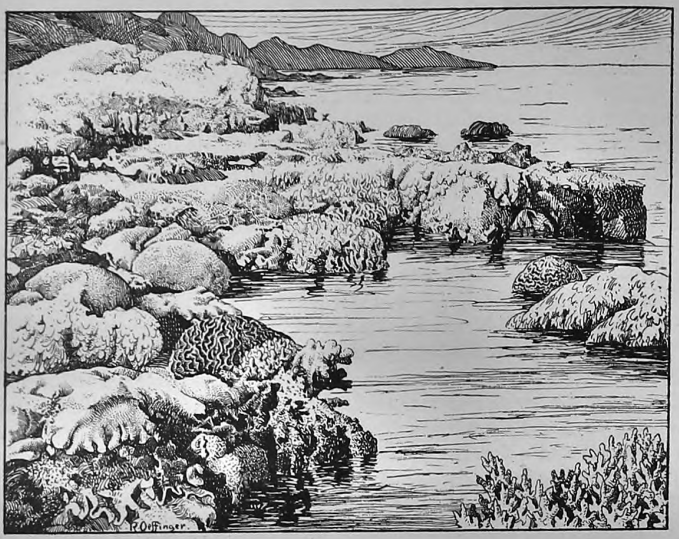


Abb. 154. Korallenriffe.

Abb. 153. Ein Madreporenstock.

Korallenriff, wird nach Darwins Beschreibung von einer Kalkalgenbank umsäumt, die an vielen Stellen die Form eines zusammenhängenden, breiten Walles einnimmt.

Von der Tierwelt sind es zunächst die uns schon bekannten Foraminiferen, die auf vielen Riffen in des Wortes eigenster Bedeutung so zahlreich sind, wie der Sand am Meer. Denn dort besteht der Sand oft hauptsächlich aus ihren stecknadelkopfgroßen Gehäusen und führt die Bezeichnung „Korallensand" sehr mit Unrecht.

Für das Jaluit-Atoll (eine der Marschall-Inseln) schätzt Schnee den Foraminiferensand auf $^1/_4$—$^1/_3$ der ganzen Riffmasse.

Auch für die höhere Tierwelt des Meeres bilden die Korallenriffe (Abb. 154) einen sehr beliebten Wohn- und Tummelplatz. „Nirgends", sagt J. Walther, „ist das Meer so reich und mannigfaltig belebt wie auf einem Korallenriffe, nirgends ist die Fülle der Tierwelt auch nur annähernd so groß. Stachelige Seeigel sitzen in Vertiefungen versteckt, bunte Seesterne klettern an den Wänden empor, Krebse und Fische spüren räuberisch umher, farbenprächtige Gastropoden (Schnecken) kriechen zwischen zarten Algenkolonien."

Auch Holothurien (Seewalzen), Schlangensterne, Serpuliden (Würmer, die in einer kalkigen Röhre stecken), mancherlei Muscheln, Schwämme und Bryozoen gehören zu den Bewohnern der Korallenriffe. Geradezu staunenswert aber ist

nach Walther die Zahl der großen und kleinen Krebse, die auf und zwischen den Korallen leben.

Die zerkleinerten Reste dieser Tiere bilden zusammen mit den zahllosen Formaniferenschälchen die Hauptmasse des sogenannten *Korallensandes*, der auf allen Riffen zu finden ist. Bruchstücke zerstörter Korallen sind ihm beigemengt, treten aber den anderen Bestandteilen gegenüber ganz in den Hintergrund. Dem Wesen nach unterscheidet dieser Sand sich in nichts von den Muschelsanden der kälteren Meere, die oben kurz besprochen wurden. Den nämlichen Kräften verdankt er seine Entstehung: Raubfische, Raubkrebse und andere Tiere zerbeißen und zerkleinern die Panzer der Muscheln, Schnecken, kleinen Krebse usw., um die darin enthaltenen Weichtiere zu verzehren. Die Abfälle dieser Mahlzeiten sind es, die — in der Hauptsache wenigstens — den Korallensand zusammensetzen.

In den engen Klüften und Spalten der Riffe, zwischen den Ästen der Madreporenstöcke, ferner am Boden der größeren Höhlen setzt sich der Kalksand ungestört ab. Die Brandung des Meeres ist schon in den äußeren Teilen des Riffs erheblich geschwächt, im Inneren völlig unwirksam und außerstande, den abgelagerten Sand hinwegzuspülen.

Immerhin werden an der Außenseite des Riffs bei stürmisch bewegter See die allerfeinsten, schlammigen Teile vom Wasser aufgerührt und oft mehrere Kilometer seewärts fortgeschwemmt. Zu solchen Zeiten ist das Meer in der Umgebung des Riffs milchig getrübt. Beruhigt sich die See, so klärt sich das Wasser ab, und der Korallenschlamm sinkt zu Boden.

Korallenstöcke, Kalkalgenbänke, „zoogener", d. h. von tierischen Organismen stammender Kalksand sind die hauptsächlichsten Materialien, die eine Koralleninsel aufbauen. Ablagerungen anderen Charakters treten, wo sie vorkommen, nur untergeordnet auf.

Am häufigsten noch trifft man größere Massen von *Bimssteinen*. Sie können unterseeischen Vulkanausbrüchen entstammen oder aus festländischen Vulkanen zuerst durch Flüsse, später durch Meeresströmungen ihrem Lagerplatz zugeführt worden sein. Bimsstein ist bekanntlich ein schaumiges, sehr poröses Gestein, das monatelang, bis zur eintretenden Zersetzung, auf dem Wasser treiben kann.

Einmal abgelagert, wird Bimsstein unter dem Einfluß des Tropenklimas ziemlich rasch zu rotem Ton oder Sand von ähnlicher Beschaffenheit wie der Laterit (S. 145) zersetzt. Anhäufungen solch roter Verwitterungsprodukte, die sogenannte terra rossa, trifft man auf Koralleninseln sehr oft an.

Daß auch in der geologischen Vergangenheit die Korallenriffe bevorzugte Sammelplätze des Tierlebens im Meere waren, darf als höchst wahrscheinlich gelten. Sonach wäre zu erwarten, daß die meisten urweltlichen *Korallenkalke*, anstatt vorwiegend aus Korallengehäusen zu bestehen, versteinerte Reste aller möglichen Meeresorganismen in großen Mengen enthalten. Dies ist auch vielerwärts der Fall, so im oberen

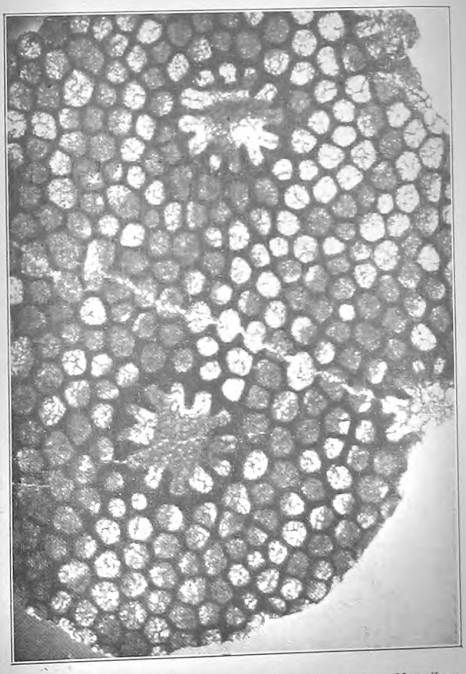


Abb. 155. Querschliff durch einen versteinerten Korallenstock. Dolomit von Gerolstein, Eifel. (Phot. v. d. Trappen.)

Jura Schwabens, wo Korallenkalke vorkommen, die im Volksmunde wegen ihres Höhlenreichtums „Lochfelsen" genannt werden. Sie führen Unmengen von Versteinerungen; neben vielen heutzutage ausgestorbenen Korallen zahlreiche Schwämme, Seeigel, Seelilien und Muscheln, Schnecken und Kopffüßer.

Sehr fossilreich sind auch die zur obersten Kreide gehörenden Faxe-Kalke der dänischen Insel *Seeland*. Sie bestehen aus Korallenfragmenten und Korallenschutt, der zahllose Molluskenschalen und vorzüglich erhaltene Krabbenpanzer einschließt.

Aber viele andere Gesteinschichten, die man ihrer Lagerung nach für alte Korallenriffe halten möchte, sind ganz arm an Versteinerungen;

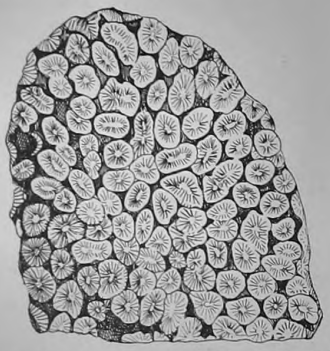


Abb. 156. Korallenkalk von Gosau im Salzkammergut.

Korallen wie andere tierische Reste fehlen fast gänzlich. Die Erklärung ist nicht schwer zu finden. Meistens zeigen solche Bildungen unter dem Mikroskop die deutlichsten Spuren erlittener Umkristallisation, welche die ursprünglichen Versteinerungen zerstört hat. Wir wissen, daß Kalkalgen einen Hauptbestandteil der Korallenriffe ausmachen, und erinnern uns an die Theorie von der durch Fäulnis erzeugten „endogenen" Kohlensäure. Die Richtigkeit der Theorie vorausgesetzt, ist kein Grund einzusehen, warum die endogene Kohlensäure auf Korallenriffen nicht ebenso umkristallisierend gewirkt haben sollte wie in einer selbständigen Kalkalgenbank.

Von diesem Gesichtspunkt aus erklärt sich vielleicht die auffällige Seltenheit von Korallengesteinen im Alpengebiet. Aller Wahrscheinlichkeit nach waren sie ursprünglich in nicht geringer Menge vorhanden, haben aber infolge weitgehender, diagenetischer Umwandlungen ihre Versteinerungen wie überhaupt ihre ganze organische Struktur eingebüßt. Nur in gewissen Schichten, z. B. der Gosaukreide, sind sie noch erhalten (Abb. 156), im übrigen wissen wir von dem ursprünglichen Baumaterial der alpinen Kalksteine so gut wie nichts. Auch unter dem Mikroskop sieht man gewöhnlich weiter nichts als eine äußerst feine, einförmige, strukturlose Kalkmasse. Ob tierische, ob pflanzliche Organismen, ob Tiefseeschlamm, ob Muschelsande den Stoff zum Aufbau dieser Gesteine geliefert haben, ist, da das Vorkommen einzelner, seltener Versteinerungen nichts beweist, eine Frage, auf welche die Geologie nur mit Vermutungen antworten kann.

Für typische Korallenriffe in den Alpen hielt man früher allgemein die mächtigen, stockförmigen Massen des Schlerndolomits (vgl. oben). Neuere Untersuchungen, namentlich solche der Münchener Schule (Rothpletz), haben jedoch ergeben, daß am Aufbau der südtiroler Dolomitberge hauptsächlich Kalkalgen, daneben alle möglichen anderen Meerestiere, aber nur verhältnismäßig wenig Korallen beteiligt gewesen sind.

Abb. 157. Der Goldberg bei Pflaumloch (unweit Nördlingen), aufgebaut aus tertiärem Süßwasserkalk. (Phot. v. d. Trappen.)

4. Süßwasserkalke.

Bislang hat uns ausschließlich die Entstehung mariner Kalke beschäftigt. In der Tat ist die ungeheure Mehrheit der Kalksteine im Meer zur Ablagerung gekommen. Gegenüber ihren gewaltigen Massen, die ganze Hochgebirge aufbauen — man denke an die Ketten der Bayrischen, Nordtiroler und Salzburger Alpen! —, erscheinen die im Süßwasser entstandenen Kalkabsätze verschwindend geringfügig.

In flachen, stagnierenden Gewässern, unter Torfmooren und feuchten Wiesen bildet sich hie und da eine schneeweiße, kreideähnliche Kalkablagerung, die Seekreide, Alm oder Wiesenmergel genannt wird. Solche „Süßwasserkreide" besteht zumeist nicht aus organischen Resten, sondern aus äußerst winzigen Kalkspatkörnchen, die durch einen chemischen Vorgang aus dem kalkhaltigen See- oder Sumpf-

wasser ausgeschieden wurden. Aber gerade bei diesem Vorgang haben wieder Organismen eine sehr wichtige Rolle gespielt.

Die Hauptmenge des Kalkes im Süßwasser ist als doppeltkohlensaurer Kalk gelöst, nur ein kleiner Teil als schwefelsaurer Kalk. Der einfach kohlensaure Kalk ist dagegen im Wasser fast ganz unlöslich. Wird also durch irgendeinen Umstand der gelöste doppeltkohlensaure Kalk in einfachkohlensauren verwandelt, so muß er sich in festem Zustand ausscheiden oder, wie der Chemiker sagt, „ausfallen".

Es sind nun pflanzliche Organismen, Algen und Moose, die hier die Abscheidung des Kalkes und damit die Entstehung der Seekreide bewirken. Alle Pflanzen bedürfen zu ihrer Ernährung der Kohlensäure. Die im Süßwasser lebenden Pflanzen halten sich zu diesem Zweck an den gelösten doppeltkohlensauren Kalk und entziehen ihm die Hälfte seiner Kohlensäure. Dadurch wird er — je nach Umständen, zu einem größeren oder geringeren Teil — in einfachkohlensauren Kalk verwandelt und „ausgefällt".

Während der Alm sich nur am Grund stehender Gewässer bildet, scheiden sich aus kalkreichem Quell- und Flußwasser, gewöhnlich ebenfalls unter Mitwirkung der Vegetation, die Kalktuffe, Duckstein oder Travertine ab. Dies sind poröse, aus kleinen Zellen oder Röhren aufgebaute Kalksteine, in denen man überall die kalkigen Überzüge und Abdrücke von Pflanzenstengeln und Blättern erkennt. Die organische Substanz dieser Pflanzenteile ist meistens verschwunden, ihre Form aber vorzüglich erhalten. Schalen von Land- und Süßwasserschnecken findet man häufig in derartigen Kalksteinen eingeschlossen.

Kalktuffe kommen in allen Kalkgebirgen vor. Berühmt ist der Travertin von Tivoli bei Rom, aus dessen Material viele altrömische Monumentalbauten, so das Kolosseum und das Grabmal der Cäcilia Metella, erbaut wurden. Auch in unserer Zeit verwendet man Kalktuffe wegen ihrer Leichtigkeit und verhältnismäßig bedeutenden Druckfestigkeit sehr gern als Bausteine.

Daß auch durch bloße Verdunstung kalkhaltigen Wassers, ohne Mitwirkung der Vegetation, Kalkabsätze sich bilden können, ist selbstverständlich. Klüfte und kleine Höhlungen in Kalkgebirgen werden oft von so entstandenem „Kalksinter" ausgefüllt. In großartiger Weise, zu oft prachtvollen Formen von schneeiger Weiße ist er, wie allgemein bekannt, in den Tropfsteinhöhlen entwickelt (Abb. 159).

5. Körniger Kalk oder „Urkalk".

Abgesehen vom Kalksinter ist bei allen Kalksteinen, deren Bildung wir bisher kennen lernten, die organische Welt direkt oder indirekt als Hauptmoment beteiligt. Die kalkigen Hartgebilde mariner Tiere und Pflanzen liefern das hauptsächliche Material zum Aufbau der übergroßen Mehrzahl der Kalksteine. Verkittet werden die Reste der Schalen, Gehäuse und anderen Skeletteile durch chemisch aus dem Meerwasser ausgeschiedene Kalksubstanz, ein Vorgang, den die Gegenwart verwesender organischer Substanz, in manchen Fällen vielleicht auch die Fähigkeit gewisser Bakterien ermöglicht. Endlich sahen wir, wie lebende pflanzliche Organismen dem Wasser Kohlensäure entziehen und so die Ausscheidung von Kalk veranlassen.

Nur die Tropfsteinabsätze machen eine Ausnahme, sie sind unabhängig von der organischen

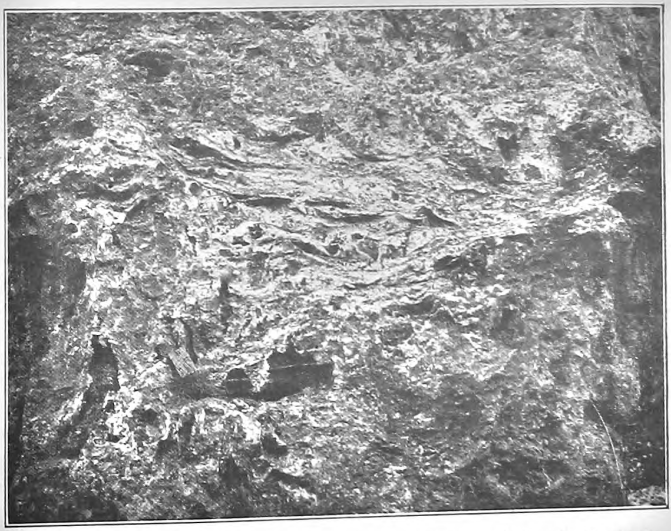


Abb. 158. Struktur des Süßwasserkalks auf dem Goldberg. (Phot. v. d. Trappen.)

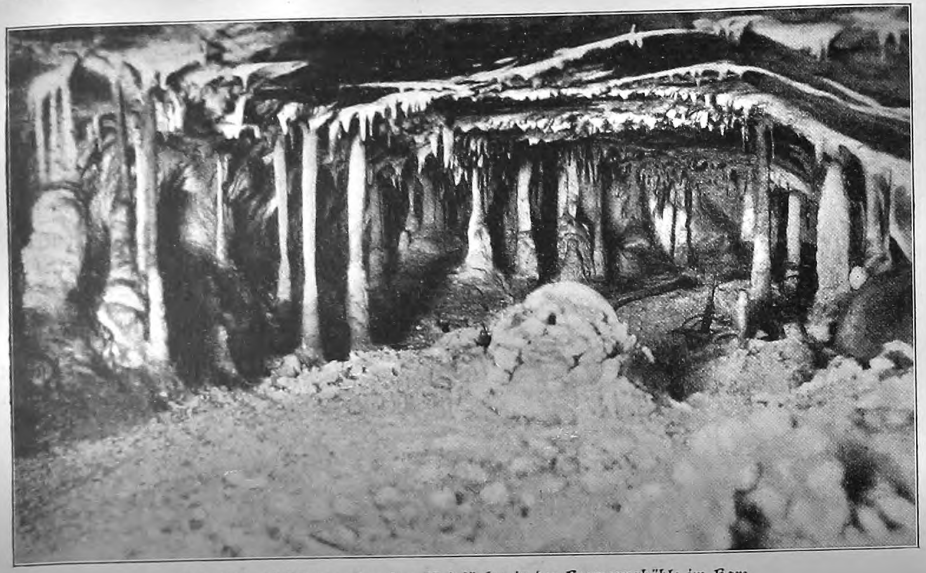


Abb. 159. Kalksinter- oder Tropfsteinsäulen in der Hermannshöhle im Harz.

Welt. Aber sie haben für den Geologen eine recht geringe Bedeutung und sind eigentlich gar keine Gesteine, sondern mineralische Neubildungen. Es fragt sich, ob etwa auch Kalksteinmassen großen Umfangs, ganze Schichten oder Massive, auf „rein anorganischem Wege" aus der toten Materie heraus entstehen können.

Die ältere Geologie bejahte diese Frage. In den dreißiger und vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren hochangesehene Gelehrte, wie Bernhard Cotta, C. Fr. Naumann, K. C. von Leonhard, der festen Überzeugung, daß ein großer Teil des sogenannten Urkalks eruptiv aus dem Erdinnern emporgedrungen sei. Danach könnte Kalk unter Umständen als vulkanisches Gestein auftreten. Der Satz klingt uns heute seltsam, fast lächerlich. Aber die alten Geologen müssen ihre Gründe für diese Anschauung gehabt haben. Es lohnt sich, den Wegen, die sie gewandelt, eine Zeitlang nachzugehen, — mögen es auch Irrwege gewesen sein.

Zunächst: Was ist Urkalk?

Im Gebiet der azoischen Schichten, die man auch als Formation der kristallinen Schiefer (Gneise und Glimmerschiefer) bezeichnet (S. 73), finden sich in großer Zahl Stöcke und Lager körnigen Kalkes. Da die ältere Geologie alle kristallinen Schiefer für Gebilde der fernsten Urzeit hielt — manche Forscher sehen in den Gneisen ja noch heute die erste Erstarrungskruste unseres Planeten —, so schrieb man auch dem eingelagerten Kalk das nämliche hohe Alter zu. Freilich seitdem in Glimmerschiefern und „Urkalken" mehrfach Versteinerungen aus viel jüngeren geologischen Epochen (z. B. aus der Trias- und Jurazeit) gefunden wurden, die bewiesen, daß jene Gesteine sehr verschiedenen Zeitaltern entstammen, ist das Gebäude der kristallinen Schieferformation stark ins Wanken geraten.

Statt „Urkalk" werden wir also besser „körniger" oder „kristallinischer" Kalk sagen. Denn eine Haupteigenschaft des in Gneisen oder Glimmerschiefern eingelagerten Kalkes ist, daß er, von ganz vereinzelten Ausnahmen abgesehen, dem unbewaffneten Auge nicht dicht erscheint wie gewöhnlicher Kalkstein, sondern deutlich körnig. Bei grobkörnigen Varietäten sieht man auf dem frischen Bruch die spiegelnden Spaltflächen des Kalkspats. Feinkörnige Varietäten sind oft durch einen weichen, dem Auge angenehmen Glanz ausgezeichnet.

Wie kam die ältere Geologie dazu, den „Urkalk" für ein vulkanisches Gestein zu erklären? Aus gewissen Beobachtungen, die man an der Grenze des Kalkes und seiner meist schiefrigen Nebengesteine gemacht hatte. Hier zeigten sich Erscheinungen, die man damals nur von Eruptivgesteinen her kannte, und die noch heutzutage in manchen Fällen als „Beweise" für die vulkanische Natur irgendeines „zweifelhaften" Gesteins dienen müssen.

Eine der hauptsächlichsten Kontaktwirkungen granitischer Massive ist die Injektion des Nebengesteins. Man versteht darunter das Eindringen schmelz-flüssigen Magmas in alle Spalten und Risse und zwischen die Schichtfugen der benachbarten Gesteine. Es ist gleichsam ein Einspritzen, ein „Injizieren", wobei die nötige Druckkraft in der emportreibenden Gewalt des Magmas, in seinem Ausdehnungsbestreben zu suchen ist. Während die Schiefer zumeist dunkle Färbung besitzen, ist das injizierte Magma gewöhnlich sehr kieselsäurereich, daher ganz licht gefärbt. Es entstehen auf diese Weise eigenartige Mischgesteine, die oft schwarz und weiß gebändert oder gefleckt erscheinen. Viele angebliche „Gneise" sind in Wahrheit injizierte Schiefer, aus dunklem, ursprünglich sedimentärem Material und lichtem, vulkanischem Magma zusammengeschweißt.

Nun beobachtet man ganz ähnliche Erscheinungen auch häufig dort, wo körnige Kalke an Schiefer oder Hornblendegesteine (Amphibolite) grenzen. Genau wie ein eruptives Magma preßt sich der Kalk zwischen die Schieferlagen, zerreißt sie und drängt sie auseinander. Wie Granite Bruchstücke des Nebengesteins losreißen und umhüllen, so enthält auch der Kalk öfters kleine, abgetrennte Schollen des benachbarten Schiefers. Ebenso läßt sich ein gangförmiges Eindringen des Kalkes in das angrenzende Hornblendegestein gelegentlich feststellen, kurz, es scheint sich in beiden Fällen um fast übereinstimmende Vorgänge zu handeln, und Beobachtungen dieser Art waren es wohl, die B. Cotta und andere hervorragende Geologen zu der Ansicht führten, zahlreiche Urkalke seien im schmelzflüssigen Zustand aus dem Erdinnern emporgedrungen.

Wie erklärt sich nun die „injektive" Natur des körnigen Kalkes?

Wer am vulkanischen Ursprung dieses Gesteins festhielte, müßte im Erdinnern neben den bekannten kieseligen Schmelzflüssen solche kohlensauren Kalkes voraussetzen. Deren Existenz ist aber aus verschiedenen Gründen höchst unwahrscheinlich. Heutzutage glaubt niemand mehr an die vulkanische Natur des Urkalkes, vielmehr faßt man seine injektive Tätigkeit als Begleiterscheinung der Metamorphose auf, die er erlitten hat.

Wie eine Kontaktmetamorphose zustande kommt, wurde schon früher besprochen. Der Leser erinnert sich, daß die heißen, dem erstarrenden Magma entweichenden Gase und Dämpfe auf weite Entfernung hin die Nachbargesteine (Tonschiefer, Kalke, Mergel usw.) durchtränken, sie aufweichen, teilweise zur Lösung bringen und ihre Umkristallisation bewirken. Die ganzen den Granit umgebenden Gesteinmassen werden selbst zu einer Art Magma, das aber im Innern sehr ungleichmäßig beschaffen ist. Denn es scheint: die einzelnen Felsarten weichen in sehr verschiedenem Grade auf; die Schiefer z. B. bleiben ziemlich starr, schwer beweglich, während Kalke und Dolomite eine sehr plastische, fast flüssige Beschaffenheit annehmen. Wenn dies zutrifft, so versteht man leicht, warum der Kalk dem Schiefer gegenüber sich ganz wie ein eruptives Magma verhielt. Er konnte in alle Spalten und Risse, in die Schichtfugen, zwischen gelockerte Schieferflächen eindringen, auch durch seine Bewegung kleine Schollen des Nebengesteins abtrennen und mit sich fortreißen. Dergleichen Vorgänge mußten um so größere Ausdehnung gewinnen, je stärker durch vorausgegangene Erdbewegungen (Brüche, Aufblättern der Schichten usw.) sich das Gefüge der Gesteinmassen gelockert hatte. Die hebende, drängende Gewalt des emporquellenden Granitmagmas dürfte hier in vielen Fällen vorgearbeitet haben.

So wäre der gesamte körnige Kalk durch vulkanische Metamorphose aus gewöhnlichem, dichtem Kalkstein hervorgegangen?

Manche Geologen beantworten diese Frage mit Ja, die meisten mit Nein.

Nach Ansicht einer weitverbreiteten Schule soll es unter den körnigen Kalken zweierlei Typen geben.

Den einen Typus bilden die durch vulkanische Kontaktmetamorphose umgewandelten Kalke. Sie finden sich naturgemäß stets in nächster Nähe granitischer oder sonstiger Tiefengesteinmassive, werden auch öfters von deren gangförmigen Ausläufern durchsetzt. Gewisse Mineralien, wie Granat, Spinell, Wollastonit, Vesuvian, sollen besonders typische Erzeugnisse der vulkanischen Metamorphose vorstellen; sie fehlen den Kalken der zweiten Gruppe.

Wer die Bergstraße besucht, kann von Auerbach aus ohne viel Zeitaufwand das berühmteste Vorkommen kontaktmetamorphen Kalkes innerhalb Deutschlands besuchen und kennen lernen. Eine Stunde aufwärts im Hochstädter Tale liegt das Marmorbergwerk „auf der Roßbach", dessen unterirdische Bauten nach eingeholter Erlaubnis jedermann zugänglich sind. Der dortige Kalk ist ziemlich feinkörnig und zum größten Teil lichtgrau gefärbt; er findet

heutzutage vorwiegend zum Kalkbrennen Verwendung.

Berühmt ist der Auerbacher Marmor wegen seines Mineralreichtums. Die meisten großen Mineraliensammlungen besitzen hervorragende Schaustücke, die dem Auerbacher Kalklager entstammen. Die Liste der dort vorkommenden Mineralien umfaßt nahezu 100 Namen.

Gerade der Auerbacher Kalk enthält an vielen Stellen eckige Bruchstücke der Nebengesteine (Granit, verschiedene Schiefer), zum Teil solche ansehnlicher Größe. Er wurde denn auch von Cotta für einen typischen Eruptivkalk erklärt.

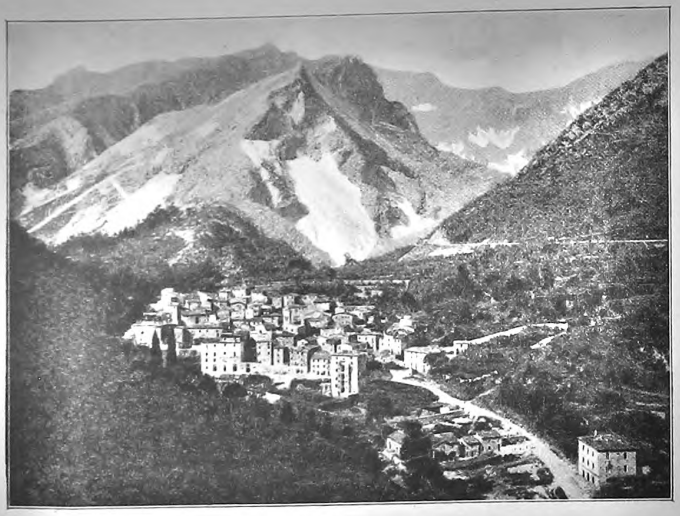


Abb. 160. Ansicht der Stadt Karrara mit den Marmorbrüchen.

Nun die andere Gruppe!

Es gibt innerhalb der Gneis- und Glimmerschieferformation in verschiedenen Gegenden sehr ausgedehnte Marmorlager, die, wie ihre hochkristalline Beschaffenheit, ihre Reinheit und lichte Farbe bezeugen, ebenfalls eine durchgreifende Metamorphose erlitten haben, — in deren Nachbarschaft aber, oft auf weite Entfernung, keine Tiefengesteine vorkommen. Die Metamorphose ist da, aber kein vulkanischer Herd, von dem sie ausgegangen sein könnte!

Zu dieser Gruppe gehören die berühmtesten Marmorlager der Welt, die zum Teil schon seit den Zeiten des klassischen Altertums der Welt das köstlichste Material zu Marmorbildwerken und -bauten geliefert haben. Die ausgedehnten Lager der griechischen Berge (Pentelikon, Hymettos usw.), der Insel Paros, der Apuanischen Alpen (Karrara) sind allbekannt; in neuester Zeit hat Statuenmarmor aus dem Vintschgau in Tirol (Laaser Marmor) durch mancherlei Vorzüge die Aufmerksamkeit der bildenden Künstler auf sich gezogen.

Bei weitem das großartigste der genannten Marmorgebiete bilden die Massive der Apuanischen Alpen, die sich von Karrara bis in die Nähe von Pisa ausdehnen und heute allein etwa 90 Prozent der gesamten Weltproduktion an körnigem Marmor liefern. Wer auf der berühmten „Tunellinie" der italienischen Mittelmeerbahn von Genua bis Pisa fährt, erblickt hinter der Station Sarzana links im Gebirge die ersten weißen Marmorbrüche. Hell glänzen ihre Wände in den Strahlen der südlichen Sonne, breite weiße Halden, blendenden Schneefeldern zum Verwechseln ähnlich, senken sich ins Tal hinab. Immer größer wird ihre Zahl, je weiter der Zug nach Süden eilt. Das Auge erschrickt vor dem Übermaß an strahlendem Weiß. Schon ist an vielen Stellen die Menschenhand zerstörend eingedrungen bis in den Kern des Gebirges, aber unermeßliche Schätze, für Jahrtausende ausreichend, liegen noch ungehoben in den felsigen Ketten.

Zu blühender Entwicklung ist in den letzten Jahrzehnten die karrarische Steinindustrie gelangt. Über 600 Marmorbrüche stehen im Betriebe, und die Stadt Karrara allein besitzt mehr denn 100 Marmorsägereien.

Freilich ist der apuanische Marmor sehr ungleichartig, was Schönheit und technischen Wert betrifft. Die vorzüglichste Varietät, zugleich wohl die schönste der Welt überhaupt, ist der „Marmo Statuario". Ihn zeichnet vor allem seine Lichtdurchlässigkeit aus. Platten von drei Zentimetern Dicke sind, gegen helles Licht gehalten, noch wundervoll durchscheinend. Zum Statuenmarmor eignet er sich besonders wegen seiner Geschmeidigkeit, die ein leichtes, sicheres Bearbeiten des Materials ermöglicht. Nur einen Fehler besitzt der Statuario, leider einen recht unangenehmen, er ist nicht wetter-

beständig. Bildwerke aus Statuario, im Freien oder auch nur in feuchten Räumen aufgestellt, verlieren in Kürze Glanz und zartfarbiges Aussehen. Sie werden gipsartig und zerbröckeln am Ende.

Ein erfolgreicher Rivale des karrarischen Statuarios ist der Laaser Statuenmarmor. Laas ist ein Dorf im Vintschgau, Station der neuen Vintschgaubahn. Der beste Marmor wird dort hoch über dem Tale gewonnen, am Mitterwandl, in einer Meereshöhe von rund 2300 Metern. Der Transport der Blöcke in das etwa 1400 Meter tiefer gelegene Tal geschieht durch Ablassen mittels Seiles.

Abb. 161. Karrarischer Steinbruch mit einem großen Statuarioblock.

Der Laaser Statuenmarmor ist härter und spröder, daher schwieriger zu bearbeiten als der von Karrara, auch bei weitem nicht so lichtdurchlässig. Diese Nachteile werden aber reichlich aufgewogen durch seine hervorragende Widerstandskraft gegenüber der atmosphärischen Verwitterung. Regen, Schnee, feuchte Luft vermögen dem Laaser Marmor nicht viel anzuhaben, daher er vielfach zu Bildwerken im Freien Verwendung gefunden hat.*)

Marmorlager der zweiten Gruppe, d. h. solche, die allem Anschein nach weit entfernt von vulkanischen Herden sich gebildet haben, gibt es noch in vielen Gegenden, nur sind es keine Statuenmarmore. Reich an kleinen Lagern sind z. B. Erz- und Fichtelgebirge, größere Massive finden sich in Skandinavien und Kanada. In Tirol gibt es außer den Vintschgauern auch in der Nähe von Sterzing bedeutende Marmorvorkommen, sie besitzen jedoch nicht die Güte des Laaser Gesteins.

Wie soll man sich nun die Metamorphose dieser Kalke vorstellen?

Sicheres weiß man nicht. Es gibt zwei Erklärungsversuche, von denen der Leser sich nach Gutdünken einen aussuchen möge.

Die eine Schule sagt: Es ist wahr, in der

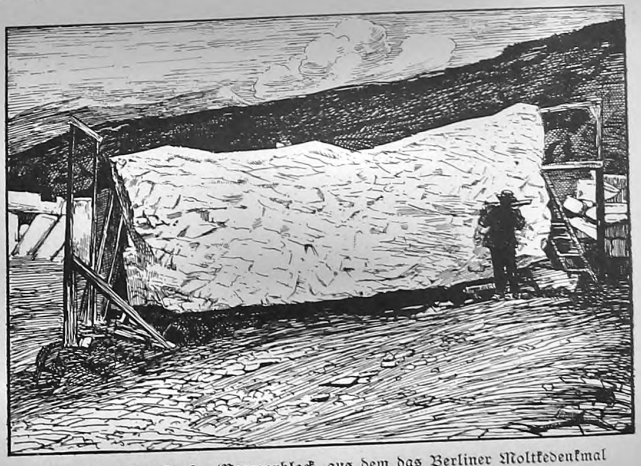


Abb. 162. Der Laaser Marmorblock, aus dem das Berliner Moltkedenkmal hergestellt wurde.

Nachbarschaft jener Marmorlager ist nichts von Granit oder sonstigen Tiefengesteinen zu sehen. Aber sie können ja in der Tiefe stecken, — mächtige Massive von vulkanischen Gesteinen

*) Aus Laaser Marmor ist z. B. das Denkmal Walthers von der Vogelweide auf dem Waltherplatz in Bozen hergestellt, ferner das neue Moltkedenkmal im Berliner Tiergarten, die großen Löwen vor der Feldherrnhalle am Odeonsplatz in München u. a. m.

können unter den metamorphosierten Schichten verborgen sein.

Für diese Auffassung spricht, daß in vielen Marmorlagern der zweiten Gruppe unzweifelhafte Spuren vulkanischer Tätigkeit nachgewiesen wurden. Die Marmore Tirols werden stellenweise von Ganggesteinen vulkanischen Ursprungs, den sogenannten Pegmatiten, durchsetzt. Dasselbe ist im Erz- und Fichtelgebirge der Fall. Gewisse Zonen des karrarischen Marmorgebirges sind reich an Mineralien, deren Bildung man kaum anders als auf vulkanischem Wege erklären kann. Neben dem häufigen Vorkommen des Turmalins, jenes so bezeichnenden Bildungsproduktes vulkanischer Dämpfe, sei auf die Beschaffenheit einer Marmorvarietät aufmerksam gemacht, die im Handel Paonazzo („Pfauenblau") genannt wird und als eine der kostbarsten Qualitäten gilt. Es ist ein Marmor von so feinem Korn wie der Statuario, aber ganz durchsetzt und erfüllt von feinen Adern, kleinen Flecken und Wolken tiefvioletten Eisenglanzes. Wahrscheinlich stammt das Erz aus der Tiefe und wurde noch während der Metamorphose dem Kalk durch heiße Lösungen zugeführt.

Immerhin kann die Umwandlung ganzer Marmorgebirge, wie der Apuanischen Alpen, nicht durch Kontaktmetamorphose (im engeren Sinne des Wortes) erfolgt sein. Dagegen spricht schon die Beobachtung, daß jene gewaltigen Lager in allen ihren Teilen fast gleichmäßig kristallinisch-körnig ausgebildet sind, während ausgedehnte Massen kontaktmetamorpher Kalke stets in einer gewissen Richtung, nämlich mit zunehmender Entfernung vom Eruptivgestein, eine Abnahme ihrer kristallinischen Beschaffenheit erkennen lassen. Die umkristallisierende Wirkung eines Granitherdes reicht, wie wir wissen, nur wenige Kilometer weit.

Was für Kräfte haben nun jene gleichmäßige Metamorphose hervorgebracht?

Es bleibt kaum eine andere Erklärung als an die Wirksamkeit heißer Quellen zu denken. Das gesamte Kalkgebirge wurde von Thermalwässern, die einem in großer Tiefe gelegenen Magmaherde entstammten, durchtränkt und aufgeweicht. Mit zunehmender Abkühlung des Wassers kristallisierte dann der Kalk in körnigem Zustande aus.

Eine andere Geologenschule — die Anhänger des Dynamometamorphismus, von dem schon oben beim Granit die Rede war — nimmt den Gebirgsdruck als Hauptursache der Umwandlung in Anspruch. Unterstützt von der Wärme des Erdinnern und der allgegenwärtigen Gebirgsfeuchtigkeit, vollbrachten mechanische Kräfte im Lauf ungemein langer Zeiträume die Umkristallisation des Kalkes. Wie man sich diesen „unendlichen langsamen" Vorgang vorzustellen hat, wurde bereits oben, bei Besprechung der Gneise, angedeutet.

Aus dem allem ersieht der Leser: die Entstehung der körnigen Kalke ist eine Frage, die mannigfache beträchtliche Schwierigkeiten bietet. Ehe nicht das Problem der kristallinen Schiefer auf befriedigende Weise gelöst ist, wird man auch über die Bildungsweise des mit ihnen eng verknüpften Urkalkes im Zweifel bleiben.

6. Dolomit.

Eine letzte, sehr wichtige Metamorphose der Kalksteine bleibt noch übrig: die Umwandlung in Dolomit. Es ist dies ein Vorgang, den noch weit mehr Kalksteine durchgemacht haben, als der Umkristallisation zu Marmor anheimgefallen sind. Infolgedessen spielen dolomitische Gesteine in vielen Formationen eine bedeutende Rolle, ja in manchen bilden sie das wichtigste Glied der Schichtenreihe.

Der Begriff „Dolomit" wird von den Mineralogen in etwas anderem Sinne angewandt als von den Geologen. Seiner eigentlichen Bedeutung nach ist Dolomit ein dem Kalkspat verwandtes Mineral, aber nicht bloß kohlensaurer Kalk wie dieser, vielmehr ein Doppelsalz, das sich aus kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia in bestimmtem Verhältnis zusammensetzt, und zwar enthält der reine, sogenannte Normaldolomit 54,2 Prozent kohlensauren Kalk und 45,8 Prozent kohlensaure Magnesia. Das Mineral kristallisiert vorzugsweise in Rhomboedern, deren Flächen öfters sattelförmig aufgewölbt sind.

Im weiteren Sinne versteht man unter Dolomit alle Gesteine, die aus den Mineralien Kalkspat und Dolomit in sehr wechselndem Mengenverhältnis aufgebaut sind. Sie führen in der Regel viel weniger Magnesia, als dem angegebenen Zahlenverhältnis entspricht, oft nur 30—40 Prozent, bei einem Kalkgehalt von 60 bis 70 Prozent. Werden die Gesteine noch magnesiaärmer, so spricht man nicht mehr von Dolomit, sondern von „dolomitischem Kalkstein".

Benannt wurde der Dolomit nach dem französischen Mineralogen Dolomieu, der ihn im Jahre 1791 zuerst als eine vom Kalkspat verschiedene Gattung erkannte und beschrieb.

Dolomit ist, wie schon angedeutet, eine ungemein verbreitete, aus fast allen Formationen

bekannte Felsart. In den Kalkgebirgen vertritt er vielerorts den Kalkstein, oft auf weite Strecken. So bestehen aus Dolomit die schon früher erwähnten Bryozoen-Riffe der Zechsteinformation, die als eine langgekrümmte Reihe fast gleich hoher Tafelberge von Köstritz, nahe Zeitz, bis Blankenburg an der Schwarza sich ausdehnen. Man trifft sie auch in der Nähe von Bad Liebenstein, die bekannte Altensteiner Höhle ist in ein Dolomitriff eingerissen.

Auch im Schwäbischen und Fränkischen Jura sind Dolomitberge oft bestimmend für den Charakter der Landschaft. Hierher gehören z. B. die grotesken Felsszenerien der Fränkischen Schweiz. Eine Eigentümlichkeit vieler Dolomitgebiete, die Existenz zahlloser Höhlen und Grotten, ist gerade im Juragebirge ungemein stark ausgebildet.

In den Alpen erlangt Dolomit als gebirgsbildendes Element eine so große Bedeutung, daß man ein umfassendes Gebiet des Südtiroler Hochlands direkt nach ihm benannt hat. Die Dolomiten, wie der gewöhnliche Sprachgebrauch in Anlehnung an Alpen, Karpathen usw. sich ausdrückt, bedeuten im touristischen Sinne das zwischen Puster-, Eisack-, Sextener Tal und den Venezianer Alpen gelegene Bergland. Darin sind aber bei weitem nicht alle Berge Dolomit in geologischem Sinne. Den roten Bozener Quarzporphyr und den ihm eng verbundenen roten Grödener Sandstein haben wir schon kennen gelernt. Abgesehen davon sind im südöstlichen Tirol auch dunkelgrüne Lavagesteine (Augitporphyre) ungemein verbreitet.

Einen Hauptanziehungspunkt für die Besucher der Dolomiten bilden die großartigen Beleuchtungseffekte, welche die Abendsonne an den gelben Felswänden und -zacken hervorzaubert, aber noch merkwürdiger und berühmter in touristischen Kreisen sind die überaus malerischen, kühnen und wilden Formen jener Bergwelt. In keinem anderen Teil der Alpen bieten die Kämme einen solchen Reichtum an Hörnern, spitzen Zacken, Pyramiden, Türmen, Zähnen, Nadeln. Ungemein mannigfaltig, bizarr und seltsam sind gerade in den Dolomiten die Formen der Verwitterung und Auswaschung. Auf den Grund dieser Erscheinung komme ich weiter unten zu sprechen.

Dolomit soll also umgewandelter Kalkstein sein. Warum? Kann sich Dolomit nicht durch ursprünglichen Absatz im Meere bilden, so gut wie Kalkstein?

Durch mechanischen Absatz wohl nicht, vielleicht aber durch chemische Abscheidung. Viele der früher erwähnten, bei den Bermuda-Inseln und auf der Seine-Bank bei Madeira gefischten Kalkknollen sind stark dolomitisch. Wahrscheinlich findet hie und da am Meeresgrunde im Zusammenhang mit der oben geschilderten Kalkabscheidung auch eine „Ausfällung" von Dolomit direkt aus dem Meerwasser statt, aber das dabei wirksame chemische Reagens kennt man nicht.

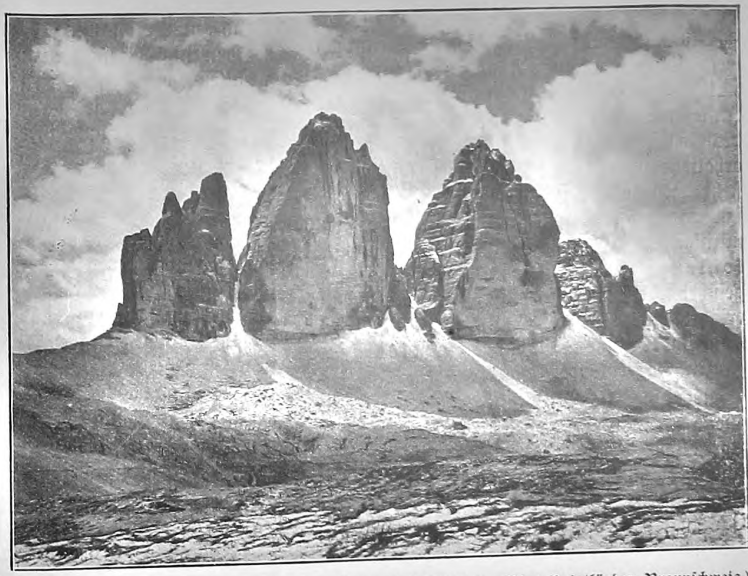


Abb. 163. Eine Dolomitenlandschaft: Drei Zinnen bei Ampezzo. (Phot. Voigtländer, Braunschweig)

Die bei der Fäulnis organischer Stoffe entstehenden Ammonium- und Natriumsalze kommen in diesem Falle nicht in Frage, sie scheiden wohl Kalk, aber keinen Dolomit ab. Die Frage besitzt übrigens nur untergeordnetes Interesse, denn wenigstens in der Gegenwart scheint die

Dolomitbildung auf diesem Wege von geringer Bedeutung zu sein.

In früheren geologischen Perioden sind vielleicht manche Dolomite auf ähnliche Art entstanden, wie die Steinsalz-, Kalisalz- und Anhydritlager,*) d. h. durch Verdunstung des Meerwassers in austrocknenden Buchten. Namentlich in der deutschen Trias, z. B. im mittleren Muschelkalk und Keuper, zeigt sich öfters eine so innige Verbindung zwischen Dolomit und den genannten Salzlagern, daß auf eine fast übereinstimmende Bildungsweise geschlossen werden darf.

Die übergroße Mehrzahl der Dolomite ist offenbar durch Umwandlung aus Kalksteinen hervorgegangen. Dabei handelt es sich aber — das muß man im Auge behalten — um einen wesentlich anderen Vorgang, als wenn dichter Kalkstein zu körnigem Marmor umkristallisiert. In letzterem Falle bleibt der chemische Charakter des Gesteins, im großen und ganzen wenigstens, erhalten: vor wie nach der Metamorphose besteht das Gestein im wesentlichen aus kohlensaurem Kalk (Kalkspat). Anders bei der Dolomitisierung. Hier muß ein neuer Bestandteil: kohlensaure Magnesia, dem Gestein zugeführt werden; die chemische Zusammensetzung erfährt eine wesentliche Änderung. Außerdem findet noch eine Umkristallisation des ganzen Gesteinkörpers statt.

Über die Herkunft der kohlensauren Magnesia hat man verschiedene Theorien aufgestellt. Vor allem fragt sich, ob die Dolomitisierung eine Metamorphose im eigentlichen Sinne ist, d. h. ein durch vulkanische Kräfte bedingter Vorgang, oder ein diagenetischer Prozeß, gleich der Umwandlung des porösen, zelligen Korallen- oder Kalkalgenriffs in kompakten Kalkstein. Wahrscheinlich kann Dolomitbildung auf einem wie auf dem anderen Wege erfolgen.

Viele Dolomite liegen so fern allen Gebieten älterer oder jüngerer vulkanischer Tätigkeit, daß man sie unmöglich für metamorphe Gesteine halten kann. Es sind diagenetische Bildungen.

Viel weiter als zu dieser negativen Erkenntnis hat man es bisher nicht gebracht. Die besonderen Ursachen der diagenetischen Dolomitbildung sind unbekannt. Möglicherweise hat J. Walther mit seiner Vermutung recht, daß auch hier wieder Bakterien die chemische Umsetzung einleiteten. Sie veranlaßten einen Gärungsprozeß, in dessen Verlauf die im Meerwasser enthaltene schwefelsaure Magnesia zum Teil zerlegt und als kohlensaure Magnesia ausgefällt wurde.

Beweise für diese Auffassung hat man freilich nicht. Obwohl des öfteren an Korallenriffen der Jetztzeit eine mehr oder weniger weit vorgeschrittene Dolomitisierung beobachtet wurde, ist man über deren Ursachen noch ganz und gar im unklaren.

Wenn die Magnesia der Dolomite aus dem Meerwasser stammt, so müssen die betreffenden Schichten während oder kurz nach ihrer Ablagerung dolomitisiert worden sein, also ehe sie im eigentlichen Sinne zu Gesteinen wurden. Nicht die fertigen Kalksteine, sondern kalkreiche Sand- und Schlammassen, bzw. Riffbildungen wurden in Dolomite verwandelt. Es hat aber zu allen Zeiten auch magnesiareiche Süßwässer, kalte wie warme, gegeben, und die mögen durch Abgabe ihrer Magnesia hie und da im Kalkgebirge das fertige Gestein dolomitisiert haben.

Waren es heiße Quellen, so kann man von Metamorphose sprechen. Hierher gehört die Dolomitisierung des Kalksteins in der Nachbarschaft gewisser Erzgänge, namentlich solcher, die Blei- und Zinkerze führen. Daß auch manche Dolomite, die in keiner Beziehung zu Erzgängen stehen, heißen Gewässern ihre Bildung verdanken, ist wahrscheinlich, aber bislang noch nirgends mit einiger Sicherheit nachgewiesen worden.

Eine eigentümliche Varietät des Dolomits ist die Rauhwacke, auch Zellendolomit genannt, ein von unregelmäßig eckigen Zellen und kleinen Hohlräumen ganz durchzogenes Gestein. Kleine, glitzernde Dolomitkristalle bedecken die Wandungen der Zellen; öfters aber füllt auch ein grauer Dolomitsand, genannt Dolomitasche, die Hohlräume mehr oder weniger aus.

In Südtirol und in Thüringen ist die Rauhwacke weit verbreitet. Im Dolomitengebirge wandert man oft stundenlang zwischen ihren Felsen. Ein typisches Vorkommen in Thüringen sind die Felsen des Altensteins bei Bad Liebenstein.

Früher glaubte man, die Rauhwacke sei ein ausgelaugter dolomitischer Kalkstein, d. h. der Kalk des Gesteins sei durch kohlensäurehaltiges Wasser aufgelöst und fortgeführt worden, während der schwerer lösliche Dolomit zurückblieb — daher die zellige, löcherige Beschaffenheit des Ganzen. Neuerdings neigt man mehr der Ansicht zu, daß die eigenartige Struktur der

*) Anhydrit ist wasserfreier schwefelsaurer Kalk, aus dem durch Wasseraufnahme Gips entsteht.

Rauhwacke ein direktes Ergebnis der Dolomitisierung, also eine ursprüngliche Eigenschaft des Gesteins ist.

Im übrigen können Dolomite ganz die gleichen Umwandlungen erleiden wie Kalksteine, z. B. durch Umkristallisation zu Dolomitmarmor werden. Diese magnesiareichen Marmore liefern zum Teil vorzügliche Bausteine. So ist aus dem Dolomit von Crevola am Simplon der Dom zu Pavia erbaut worden. Freilich, als Statuenmarmor ist, wie es scheint, kein Dolomit zu gebrauchen.

Nicht in allen Fällen kristallisiert dichter Dolomit zu Dolomitmarmor um. Es passiert öfters, daß die Magnesia, wenigstens zum Teil, auf Abwege gerät. Kohlensaure Magnesia verliert bei viel niedrigerer Temperatur ihre Kohlensäure als der Kalkspat. Wenn nun im Verlauf der Metamorphose die Temperatur hoch genug steigt, wird die kohlensaure Magnesia ihre Kohlensäure abgeben, während der Kalk sie noch festhält. Es bleibt dann Magnesiumoxyd über (als Mineral Periklas genannt), das sich in oktaedrischen Kristallen abscheidet. Durch Wasseraufnahme wird Periklas zu Bruzit, einem feinschuppigen oder feinfaserigen Mineral, das in den kontaktmetamorphen Kalken von Predazzo in Südtirol stellenweise massenhaft vorkommt.

Die frei gewordene Magnesia kann sich auch mit anderen chemischen Elementen zu mancherlei „Kontaktmineralien" verbinden. Ist z. B. Kieselsäure anwesend, so entsteht leicht kieselsaure Magnesia, als Mineral Forsterit genannt. Wie Periklas durch Wasseraufnahme sich in Bruzit verwandelt, so Forsterit in Serpentin, jenes bekannte, meist tiefgrün gefärbte Mineral, das häufig zu Vasen, Tellern, Leuchtern, überhaupt zu allerlei Schmuck- und Gebrauchsgegenständen verarbeitet wird. In manchen körnigen Kalken tritt Serpentin sehr reichlich auf. Die Gesteine sind dann grün gefleckt oder grün geadert und oft von hervorragend schönem Aussehen. Man nennt sie Ophikalzite.

Gewisse Ophikalzite haben in der Geschichte der Geologie eine sehr eigentümliche Rolle gespielt.

In den körnigen Kalken Kanadas, Schottlands und Bayerns kommen häufig etwa kopfgroße Nester von Ophikalzit vor, die einen schaligen Aufbau aus abwechselnden Kalk- und Serpentinlagen zeigen. Manche dieser Gebilde besitzen ein so auffallend regelmäßiges Gefüge, daß die ersten Entdecker sie für Reste riesiger Foraminiferen ansahen. Man gab ihnen den Namen „Eozoon" und glaubte in ihnen die frühesten Spuren des Lebens auf der Erde gefunden zu haben. Damit war es nun nichts; der anorganische Ursprung der Eozoongebilde, ihre Zugehörigkeit zu den Ophikalziten sind längst sichergestellt.

Karrenfelder und Höhlen. Auflösung des Kalkes.

Über die Verwitterung der Kalksteine und Dolomite gibt es nicht so viel zu berichten, wie beim Granit. Die gleichen zerstörenden Kräfte, Spaltenfrost, Sonnenglut, Regen, fließendes Wasser, Meeresbrandung usw., sind in Kalk- wie in Granitgebirgen tätig und führen zu übereinstimmenden oder wenigstens sehr ähnlichen Ergebnissen. Daher wird es genügen, auf einige besonders auffallende Erscheinungen aufmerksam zu machen.

Kohlensäurehaltiges Wasser, zumal Schneewasser, wirkt in langen Zeiträumen so stark auflösend auf Kalkstein, daß es die Oberfläche von Kalkplateaus in ganz merkwürdiger Weise zu modellieren vermag. Die Karrenfelder und Schratten der Alpen verdanken dieser ausnagenden Tätigkeit des Wassers ihr eigenartiges Aussehen.

Ein Karrenfeld (Abb. 164) besteht aus zahllosen kleinen, im Durchschnitt metertiefen Rinnen und Schluchten, die zumeist wirr durcheinander laufen. Die Kämme zwischen ihnen sind bald glatt und scharfkantig, bald abgerundet, bald zackig und zerrissen. Wer nie ein Karrenfeld gesehen hat, stelle sich ein Meer vor, das im lebhaften Wellenschlag plötzlich erstarrt ist, — die Ähnlichkeit ist in der Tat überraschend.

Abb. 164 führt uns zwei verschiedene Stadien der Karrenbildung vor Augen. Auf der oberen, steil geneigten Felsplatte hat der Regen bislang nur seine, seichte Rinnen erzeugt, die im großen und ganzen parallel laufen und aus der Entfernung wie eine feine Schraffierung des Gesteins wirken. Weiter abwärts hat sich dagegen schon ein regelrechtes Karrenfeld gebildet: tiefe Furchen und Gräben wechseln mit zerrissenen Kämmen und sattel-

förmig aufgebogenen Pfeilern; man meint, das verkleinerte Relief eines Hochgebirges zu erblicken.

Karrenfelder bedecken Flächenräume bis zu einer Quadratmeile und darüber. Besonders großartig sind sie in den Salzburger Kalkalpen entwickelt. Das „Steinerne Meer" bei Saalfelden an der Giselabahn ist wohl das bekannteste, am häufigsten besuchte Karrengebiet der Ostalpen.

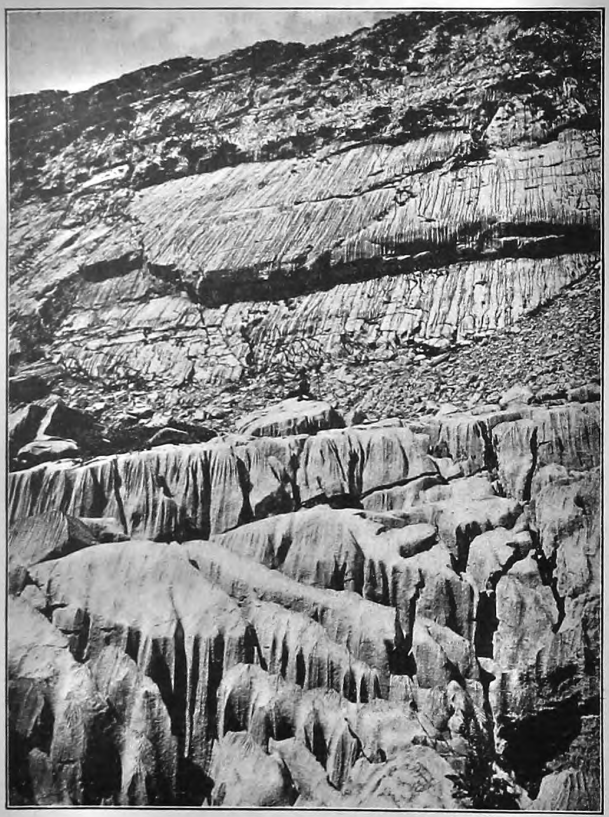


Abb. 164. Regenrinnen und Karren am Säntis. (Phot. Wehrli & Co., Kilchberg.)

Bemerkenswert ist, daß die Meeresbrandung an steilen Kalkufern ganz ähnliche Karrenfelder hervorbringt wie Schnee und Regen im Hochgebirge. Obgleich das Seewasser an sich den Kalk viel langsamer löst als das Wasser der atmosphärischen Niederschläge, wird doch durch die beständige Bewegung der brandenden See die Lösung wesentlich gefördert. Solche von der Brandung zerfressene Kalkfelsen kommen z. B. an der Küste von Capri vor.

Im Mittelgebirge fehlen Karrenfelder, dafür bilden dort die „geologischen Orgeln" eine häufige Erscheinung. Man versteht darunter zylindrische oder brunnenartige Vertiefungen, die annähernd senkrecht in die Kalkfelsen eindringen. Die „Orgeln" entstehen besonders leicht unter einer Decke von Waldboden und Humus. Das einsickernde Wasser nimmt aus dem Erdboden Kohlensäure auf, wodurch seine Lösungskraft beträchtlich erhöht wird. Im Lauf langer Zeiträume entstehen oft Höhlungen von mehreren Metern Tiefe, die in den meisten Fällen von später eingeschwemmten Sand- und Schottermassen wieder ausgefüllt werden (Abb. 165).

Die geologischen Orgeln leiten hinüber zu den Grotten und Höhlen, die, wie allgemein bekannt, in Kalkgebirgen ungemein verbreitet sind. Früher schrieb man auch ihre Entstehung durchweg den auslaugenden Kräften des Wassers zu, das ursprünglich vorhandene Spalten allmählich zu jenen prachtvollen Domen und Sälen erweiterte, die wir in zahlreichen Tropfsteinhöhlen bewundern.

Diese Erklärung der Höhlenbildung ist wahrscheinlich nur in beschränktem Maße haltbar. Manche Höhlen stehen in einem so unverkennbaren Zusammenhange mit Spalten, daß sie zweifellos durch deren Erweiterung entstanden sind. Andere aber sind unregelmäßige Hohlräume sehr wechselnder Größe, die durch enge Gänge miteinander in Verbindung stehen, oft sogar ganz isoliert im Kalkgebirge auftreten. Sie stellen offenbar ursprüngliche Höhlungen vor.

Ihre Existenz erklärt sich in sehr einfacher Weise, wenn wir bedenken, daß es hauptsächlich Riffkalke und Dolomite sind, in denen die Höhlenbildung größeren Umfang gewinnt.

Andere Kalksteine, z. B. Foraminiferenkalke, sowie körnige Marmore enthalten fast niemals Höhlen von Bedeutung. Nun beobachten wir gerade in den heutigen Korallenriffen sehr ausgedehnte Spalten- und Höhlensysteme. Benachbarte Korallenstöcke schließen

in der Regel nicht dicht aneinander, sondern lassen Lücken von oft beträchtlicher Weite, die sogenannten Brunnen, zwischen sich frei. Ein Teil davon, namentlich die kleinen, wird allmählich von Kalksand ausgefüllt. In den großen lagert sich nur am Grunde eine Sandschicht ab, der übrige Raum bleibt frei und bewahrt seinen Höhlencharakter ganze Jahrmillionen (Abb. 166).

Die meisten Tropfsteinhöhlen des Schwäbischen und Fränkischen Juras, des Harzes und Thüringens, die großartigen unterirdischen Hallen des Karstes (Adelsberger Grotte) sind ursprüngliche Lücken in Korallenriffen. Erst in späterer Zeit wurden sie von den unterirdischen Gewässern umgeformt und zum Teil auch beträchtlich erweitert. Diese Höhlen fallen also nicht unter den Begriff der „Verwitterungsformen".

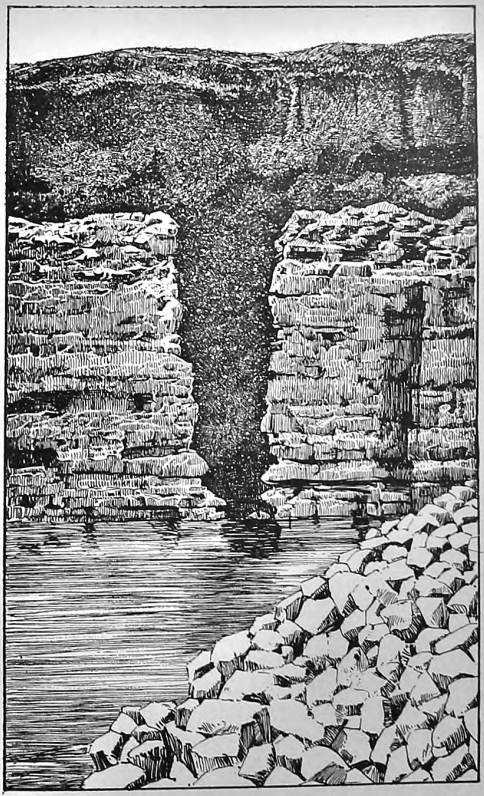


Abb. 165. Natürlicher, von diluvialem Schutt ausgefüllter Brunnen bei Jory. (Aus „La Terre".)

Wohl aber werden wir eine andere Gruppe von Erscheinungen dazu rechnen müssen. Die

Abb. 166. Die Scheuer, eine Grotte am Rosenstein. (Phot. v. d. Trappen.)

wilden, bald erhabenen, bald grotesken Felsszenerien der Dolomiten sind unter dem Meißel der Verwitterung entstanden.

Dolomit, kohlensaure Kalk-Magnesia, widersteht den Einflüssen der Verwitterung und Abtragung weit besser und länger als magnesiaarme Kalksteine. Seine Felsen stehen noch in voller Pracht, wenn die Kalkberge längst erniedrigt, zu sanften, unscheinbaren Bergrücken geworden sind. Gebirge, in denen Erhebungen von Dolomitgestein mit solchen von Kalk abwechseln, wie z. B. der Fränkische Jura und die Dolomiten Südtirols, werden daher im Laufe der Zeit eine sehr sonderbar und auffällig gestaltete Oberfläche bekommen. Der leichter lösliche und zerstörbare Kalkfels wird ein welliges, ziemlich einförmiges Bergland bilden, aus dem der Dolomit in massigen Felstürmen, steilen Zinnen, wunderlichen Zacken und Nadeln hervorragt.

Eine Berechnung, die H. Credner mitteilt, gibt uns eine klare Vorstellung, wie überraschend schnell die Auflösung des Kalkes in unseren Gebirgen vonstatten geht. Aus der Wassermasse der dem Teutoburger Walde und der Haar entströmenden Flüsse und aus ihrem Gehalt an kohlensaurem Kalke hat man berechnet, daß sie jenen kleinen Gebirgen jährlich eine Kalkmasse entziehen, die einem Würfel von mehr als 33 Metern Seitenlänge entspricht. Mag vielleicht in dieser Berechnung ein Fehler stecken, und die Zahl zu groß sein, so bleibt doch kein Zweifel, daß in Hunderttausenden von Jahren die lösende Tätigkeit des Wassers ein ganzes Kalkgebirge bis auf den letzten Rest von der Erdoberfläche vertilgen kann.

Daß auch die Organismenwelt zerstörend auf kalkige Gesteine einwirkt, wurde bereits

im ersten Kapitel bei Besprechung der organischen Verwitterung bemerkt. Die Wurzelspitzen vieler Pflanzen scheiden schwache Säuren aus, mit deren Hilfe sie sich im Kalk und Dolomit einätzen. J. Walther erwähnt, daß der sogenannte Schaumkalk in der Umgegend Jenas meist von gewundenen Löchern und Röhren erfüllt ist, die durch wachsende Baumwurzeln gebildet und erweitert wurden. Der nämliche Gelehrte gibt einen lehrreichen, leicht ausführbaren Versuch an, der die ätzende Kraft der Pflanzenwurzeln bequem erkennen läßt. Wer eine polierte Kalkplatte, z. B. ein geschliffenes Marmorstück, in einen Blumentopf legt und darüber eine Erbse oder Lupine pflanzt, kann nach Verlauf einiger Tage auf der gereinigten Platte ein zartes Netzwerk eingeätzter Rinnen mit der Fingerspitze fühlen.

Tongesteine.

Wie an früherer Stelle ausgeführt wurde, zerlegt die chemische Verwitterung das Felsmaterial in zwei Teile, die man kurz als „Lösung" und „Rückstand" bezeichnen kann.

Von den chemischen Bestandteilen eines Granits gehen Natron, Eisen und Kalk leicht in Lösung, schwerer Kali und Magnesia, während Kieselsäure und Tonerde fast unvermindert im Rückstande bleiben. Die gelösten Stoffe durchtränken zum Teil den Boden und bedingen seine Fruchtbarkeit, zum andern Teil fließen sie im Quell- und Flußwasser dem Meere zu. Danach sollte man erwarten, daß die Stoffe sich im Meer allmählich anreicherten, mit anderen Worten: Meerwasser müßte eine ähnliche, nur weit konzentriertere Zusammensetzung wie das Flußwasser besitzen. Das ist bekanntlich nicht der Fall; Meerwasser enthält nur einen Stoff besonders reichlich, das Kochsalz oder Chlornatrium. Außerdem sammeln sich auch Magnesiasalze und das dem Kochsalz ähnliche Chlorkalium in den Ozeanen an, freilich nicht annähernd in dem hohen Grade wie das Chlornatrium, während der so massenhaft von den Flüssen ins Meer geführte kohlensaure Kalk fast gänzlich verschwindet. In Zahlen ausgedrückt, stellt sich das Verhältnis ungefähr so: Flußwasser enthält im Durchschnitt zehnmal soviel Kalk- als Alkalisalze, Meerwasser aber umgekehrt fast zwanzigmal soviel Alkalisalze (namentlich Chlornatrium) als Kalkverbindungen.

Das scheinbar so rätselhafte Verschwinden des Kalks erklärt sich leicht, wenn man bedenkt, welch ungeheure Mengen tierischer wie pflanzlicher Bewohner des Meeres kalkige Schalen oder Innenskelette bilden. Den hierzu erforderlichen kohlensauren Kalk entziehen sie dem Meerwasser durch verwickelte, zum Teil noch ungenügend erforschte chemische Prozesse. Und nicht nur die lebenden, auch die toten Organismen tragen zur Verminderung des Kalkgehaltes bei. Wenn die Eiweißstoffe verwesen, entsteht kohlensaures Ammoniak, das seinerseits aus dem Salzwasser kohlensauren Kalk abscheidet. So haben zwei ganz verschiedenartige Gruppen von Vorgängen, die freilich der nämlichen Quelle, der organischen Welt, entstammen, einen beständigen Verbrauch des dem Meere zugeführten Kalkes im Gefolge, wogegen das von den Lebewesen fast gar nicht benötigte Kochsalz sich fort und fort anreichert.

Aus den Schalen und Schalenresten der Meeresorganismen sowie dem chemisch aus dem Seewasser abgeschiedenen Kalk entsteht, wie im vorhergehenden Kapitel dargelegt wurde, die übergroße Mehrzahl der Kalksteine. Es sind nicht, wie in den meisten Lehrbüchern steht, rein „organische", sondern „organisch-chemische" Sedimente.

Was wird aber aus dem ungelösten Rückstand der Granite und ähnlichen Felsarten?

Im Rückstand bleibt vornehmlich Quarz, die allen Angriffen der Verwitterung trotzende Kieselsäure, dann etwas Glimmer und der aus dunkelm Glimmer hervorgegangene Chlorit (vgl. S. 151), endlich der unlösliche Rest der vollkommen zersetzten Feldspate. Dieser Rest besteht in der Hauptsache aus feinsten, schlammigen Flocken toniger Beschaffenheit.

Sturzbäche, Regengüsse und Schneewasser schwemmen das lockere Material der verwitterten Gesteine in die Täler. Als Geröll wird es von den Bächen und Flüssen weitergeführt, dem Tieflande zu. Die gröberen Massen setzen sich schon unterwegs wieder ab und bilden Schotter, Kieslager und Sandbänke. Den feinen Schlamm aber, die sog. Flußtrübe, tragen die Ströme hinaus ins Meer. Er liefert den Stoff zum Aufbau neuer Gesteine, hauptsächlich der Tone und Tonschiefer.

Ton ist, wie jedermann weiß, eine erdige Masse von eigentümlichem Geruch, ausgezeichnet

durch die Fähigkeit, bei Durchfeuchtung mit Wasser mehr oder weniger plastisch zu werden. In trockenem Zustand zerbröckeln die Tone leicht, sind aber in feuchtem oft sehr zähe. Ihre Verwendung zu Backsteinen und Ziegeln, zu Tongeschirr und Steingut ist allgemein bekannt.

Seiner Herkunft entsprechend, muß der Ton, abgesehen vom Hauptbestandteil, der „Tonsubstanz", winzige Bruchstücke der Mineralien des zerstörten Granits (oder verwandter Gesteine) enthalten. In der Tat findet man überall kleine Splitter von Quarz und Feldspat sowie zersetzte Glimmerflitterchen, unscheinbare Reste des einst so stolzen Felsgebäudes, die aus dem allgemeinen Zusammenbruch sich in eine neue Form hinübergerettet haben. Sie sind uns dem Wesen nach nichts Neues, — was aber bedeutet die Masse, in der sie eingebettet liegen, das Fundament der Tongesteine, die „Tonsubstanz"?

Das Mikroskop lehrt uns hier sehr wenig. Bei starker Vergrößerung erkennt man oft ein flockiges Gewebe feinster, glimmerähnlicher Schüppchen, oft aber auch, sozusagen, gar nichts; eine strukturlose, unauflösbare Masse bildet dann den Untergrund. An eine Bestimmung dieser Masse ist nicht zu denken. Gewisse Anhaltspunkte zu ihrer Deutung liefert die chemische Analyse; nach ihnen zu schließen, hat die Grundsubstanz weitaus der meisten Tone eine glimmerähnliche Zusammensetzung und ist keineswegs Kaolin, wie man früher allgemein annahm. Mehr aber läßt sich beim besten Willen nicht sagen. Die Zahl der glimmerähnlichen Mineralien ist so bedeutend, daß hier jede Vermutung schweigen muß. Vielleicht liegt gar keine einheitliche Verbindung vor, sondern ein inniges Gemenge nahe verwandter Stoffe, unter denen sich — möglicherweise auch etwas Kaolin befindet.

Tonschiefer sind aus denselben Elementen entstanden wie die Tone, haben aber gewisse Veränderungen erlitten, als deren auffälligste die oft sehr vollkommene Schieferung hervortritt. Varietäten, die in dünnen, aber festen Platten brechen, dabei frei sind von störenden Beimengungen (z. B. Schwefelkies), bezeichnet man als „Dachschiefer". Ihre Platten finden zum Dachdecken und vielfach auch zur Bekleidung der Außenwände von Häusern Verwendung. Ähnliche Schiefer, bei denen eine möglichst schwarze Farbe Bedingung ist, sind die „Tafelschiefer".

Zwischen Tonen und Tonschiefern sind alle nur denkbaren Zwischenglieder vorhanden, die man zusammenfassend „Schiefertone" benennen kann. Vom lockeren, leicht zerbröckelnden Ton bis zum kompakten, verbandsfesten Schiefer reicht eine fortlaufende, ununterbrochene Reihe. Interessant ist nun, daß in demselben Maße, wie die Schieferung sich vervollkommt, auch im Mineralbestand ein ständiger Fortschritt zu mehr „kristalliner" Entwicklung stattfindet. Die rätselhafte „Tonsubstanz" verschwindet allmählich; an ihre Stelle treten feine Lagen eines gut charakterisierten Glimmerminerals. Es ist Serizit, ein fein-seidiger, lichter Glimmer, der auch als Umwandlungsprodukt granitischer Gesteine auftritt. In den Tonschiefern hat er sich offenbar aus der gestaltlosen, schlammigen Grundmasse, aus der Tonsubstanz, entwickelt, die in ihm zu kristallinischer Gestaltung gelangt. Bei den höchst entwickelten Tonschiefern vergrößern sich auch die Quarz- und Feldspatkörner; man bekommt den Eindruck, als sei das ganze Gestein umkristallisiert. Auf diese Erscheinung werde ich weiter unten zurückkommen.

Schwierig ist die Deutung eines anderen Bestandteils, der nur den ganz niedrig stehenden Tonen fehlt. Betrachtet man die Grundmasse mit einer starken, etwa 300fachen Vergrößerung, so sieht sie an vielen Stellen wie erfüllt aus von einer Unmenge winziger Abschnitte allerfeinster, dunkler Härchen. In Wirklichkeit sind dies kleine, nadelförmige Kristalle, genannt „Tonschiefernädelchen", über deren Wesen man früher viel gestritten hat. Heute hält man sie allgemein für Rutil, ein stark licht- und doppelbrechendes Mineral (die Lichtbrechung ist stärker als beim Diamant), in chemischer Hinsicht eine Verbindung des dem Silizium und Zinn verwandten Grundstoffes Titan mit Sauerstoff (sog. Titansäure). Ob dies die richtige Deutung, steht aber keineswegs außer Zweifel. Auffallend bleibt nach E. Weinschenk die Tatsache, daß mit den Hilfsmitteln der chemischen Analyse kaum mehr als ein halbes Prozent Titansäure in den Schiefern nachgewiesen werden konnte. Bedenkt man, daß die angeblichen Rutilnädelchen die Grundmasse oft ganz und gar durchtränken, so wäre ein weit bedeutenderer Gehalt, wenigstens mehrere Prozente, zu erwarten. —

So weit die normale Zusammensetzung der Tongesteine. Es gibt aber weiterhin eine ganze Reihe Varietäten, die, durch eigenartige Bestandteile ausgezeichnet, für die Technik besondere Wichtigkeit besitzen. Die plastischen

oder Fettone der keramischen Industrie verdanken ihre wertvollen Eigenschaften in erster Linie ihrem wesentlichen Kaolingehalt. Die reinsten Varietäten brennen sich vorzüglich weiß und sind sehr feuerfest. Ebenso gehört das meiste, was als Tegel oder Pfeifenton bezeichnet wird, den Kaolintonen an. Aber auch unter den nicht kaolinischen oder Magertonen, die, wie erwähnt, die große Hauptmasse der Tone bilden, sind manche genügend plastisch, um wenigstens zur Töpferei Verwendung zu finden.

Um ein naheliegendes Mißverständnis zu vermeiden, sei ausdrücklich betont, daß die Fettone trotz ihres oft beträchtlichen Kaolingehalts echte Sedimente, und zwar größtenteils Süßwasserabsätze, sind. Dies erhellt schon aus den versteinerten Muscheln und Schnecken, die sie oft in großen Mengen enthalten. Das Kaolin stammt, wie die übrigen Bestandteile, aus zerstörten, älteren Gesteinen, befindet sich also in den Tonen auf zweiter, „sekundärer", Lagerstätte. In manchen Gegenden hat man die Herkunft kaolinreicher Tone aus dem „umgelagerten" Material „primärer" Kaolinmassen direkt nachweisen können. —

Für die chemische Industrie sind die Alaun- oder Vitrioltone von Bedeutung. Sie enthalten aber — wenigstens in frischem Zustand — weder Alaun noch Vitriol; beide Stoffe lassen sich erst aus dem Schwefelkies gewinnen, der diese Art Tone in feiner Verteilung ganz und gar durchtränkt.

Schwefelkies ist eine Verbindung von Schwefel mit Eisen („Zweifach-Schwefeleisen") und kristallisiert in graugelben, metallisch glänzenden Kristallen, deren Grundform der Würfel bildet. Wenn Schwefelkies an der Luft verwittert, nimmt er Sauerstoff auf und wandelt sich zum Teil in schwefelsaures Eisen oder Eisenvitriol um; dabei entsteht aber auch freie Schwefelsäure, die sich mit der kieselsauren Tonerde weiter umsetzt und sie in schwefelsaure Tonerde verwandelt. Letztere findet zur Fabrikation des bekannten Kalialauns Verwendung. —

Viele Tone, darunter die meisten „Töpfertone", sind stark eisenhaltig. Das Eisen verleiht ihnen eine ockergelbe oder auch lebhaft rote Farbe, so daß dergleichen Material oft sehr brauchbare Anstrichfarben abgibt.

Auf Steinsalzlagerstätten kommen häufig Gips- und Salztone vor, die zum großen Teil behufs Gewinnung dieser Mineralien bergmännisch ausgebeutet werden. —

Unter den Tonschiefern sind kaolinreiche Varietäten seltene Ausnahmen; weit häufiger trifft man Alaunschiefer, die in ihrer Zusammensetzung ganz den Alauntonen entsprechen und wie diese sich zur chemisch-technischen Verarbeitung eignen. Viele andere Schiefer enthalten massenhaft kohlige Stoffe; kommt eine recht weiche Beschaffenheit hinzu, so kann man mit ihnen schreiben und zeichnen („Zeichenschiefer"). Als Heizmaterial sind in gewissen ländlichen Gegenden die an Bitumen (Erdpech, Erdharz) reichen „Brand"- oder „Ölschiefer" gebräuchlich, die übrigens beim Verbrennen derartig üble Gerüche entwickeln, daß sie in zivilisierten Gegenden als Brennstoff gar nicht in Frage kommen.

Einer der wertvollsten aller Tonschiefer ist der Kupferschiefer Mitteldeutschlands, eine weit ausgedehnte, aber nur fünfzig bis sechzig Zentimeter mächtige Schicht der Zechsteinformation, die verschiedene Kupfererze (daneben auch gediegen Silber, Blei- und Nickelerze) in feinster, staubartiger Verteilung enthält. Die Erzführung lohnt nicht überall den Abbau; am bedeutendsten ist sie wohl im Mansfeldischen, wo beispielsweise im Jahre 1901 an Kupfer 381 600 Zentner und an Silber nahezu 2000 Zentner gewonnen wurden. Für die Geologie beansprucht der Kupferschiefer noch in anderer Hinsicht Beachtung: er führt stellenweise in großer Menge und vorzüglichem Erhaltungszustand versteinerte Fische: ausgestorbene Ganoiden (Schmelzschupper, Abb. 167) mit knorpeliger Wirbelsäule

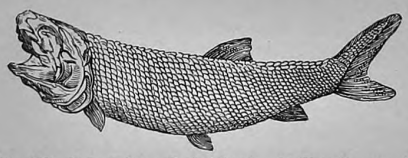


Abb. 167. Palaeoniscus Freieslebeni, ein Ganoid aus dem Kupferschiefer.

und unsymmetrischer („heterozerker") Schwanzflosse. Die Hartgebilde dieser Fische wurden zu Stein, aus den verwesenden Weichteilen aber entstanden die bituminösen Stoffe, die im Mansfelder Kupferschiefer 10—17 Prozent der Gesteinmasse ausmachen.

Manches Interessante bieten auch die schwarzen, der „Flyschformation" angehörenden Tonschiefer des Kantons Glarus. Unter „Flysch" versteht man ein oft sehr mächtiges Schichtensystem, das einen bedeutenden Teil der niedrigeren Ketten der Nordalpen, von der Schweiz bis nach Wien, aufbaut und teilweise noch der jüngsten Kreide, teilweise dem Alttertiär zuge-

rechnet wird. Der Gesteincharakter dieser Schichten wechselt, — im Glarner Lande liefert der Flysch vorzügliche Dachschiefer, die in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut und weithin versandt werden. Sie zeichnen sich in noch höherem Grade als der Kupferschiefer durch Reichtum an versteinerten Fischen aus; aber dem weit jüngeren Alter entsprechend, sind es keine Ganoiden, sondern den heutigen Knochenfischen nahe verwandte Formen. Während der Kreidezeit erfuhren die Fische im inneren wie äußeren Bau erhebliche Umgestaltungen. Das

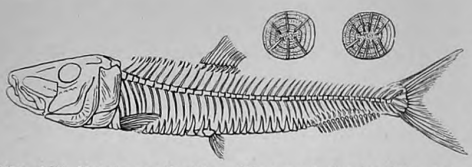


Abb. 168. Meletta sardinoides. Oben zwei einzelne Schuppen.

früher knorpelige Skelett wich einem soliden Knochenbau, die dicken, schmelzbedeckten Ganoidschuppen wurden durch dünne, biegsame, schmelzlose Schuppen ersetzt, die Schwanzflosse verlor, wenigstens äußerlich, ihre hakenförmige Gestalt und nahm eine völlig symmetrische Form an, wie wir sie von den heute lebenden Fischen kennen. In den Glarner Schiefern ist ein heringartiges Fischchen, die Meletta sardinoides (Abb. 168), besonders verbreitet und als Leitfossil dieser Schichten anerkannt. —

Strenggenommen, dürfen die mitteldeutschen Kupfer- und die Glarner Fischschiefer nicht mehr den Ton-, sondern den Mergelschiefern zugezählt werden. Mergel unterscheiden sich von den Tonen durch einen wesentlichen Gehalt an kohlensaurem Kalk; selbstverständlich gehen beide Gesteingruppen ganz allmählich ineinander über, daher die Abgrenzung völlig willkürlich ist. Namen, wie „Tonmergel," „Kalktonschiefer", dienen zur Bezeichnung der Zwischenformen. Auf der anderen Seite verlaufen die Mergel ebenso unmerklich in die tonarmen und schließlich tonfreien Kalksteine. Dieser organische Zusammenhang zweier in ihren Extremen grundverschiedener Gesteinklassen wird leicht verständlich, wenn man bedenkt, daß die Hauptmasse aller tonigen wie kalkigen Felsarten am Boden der Ozeane entstanden ist. Die Hauptmasse, — Ausnahmen gibt es hier wie dort. Von den Süßwasserkalken war früher die Rede; sie verschwinden gegenüber den mächtigen, oft zu hohen Gebirgen aufgestauten und ganze Länder bedeckenden Kalkablagerungen uralter, längst verschwundener Meeresbecken. Nicht viel anders ist es bei den Tonen. Zwar sind wohl die kaolinreichen Fettone größtenteils Sedimente des süßen Wassers, die unweit der vulkanischen Massive, aus deren Zerstörung sie hervorgingen, in Binnenseen zum Absatz kamen, — aber die weitaus überwiegenden Magertone verdanken, wie schon ihr Reichtum an versteinerten Meerestieren beweist, ihre Bildung dem Salzwasser. An Verbreitung wetteifern sie — die Tonschiefer eingeschlossen — mit den marinen Kalksteinen. Namentlich in den ältesten geologischen Perioden (Kambrium, Silur), auch in der Kohlenzeit vertreten tonige Gesteine ganze Formationen. Eine reiche Fülle interessanter, im Vergleich mit der heutigen Lebewelt sehr fremdartig anmutender Tierformen: Trilobiten, Brachiopoden, Graptolithen, ist uns im versteinerten Tiefseeschlamm jener Urmeere erhalten.

Tonige Absätze der heutigen Meere.

Wenn die urweltlichen Tongesteine überwiegend marin sind, so bilden sich wohl auch noch heutzutage am Boden der Ozeane ähnliche Ablagerungen? In der Tat hat die moderne Tiefseeforschung nachgewiesen, daß wahrhaft ungeheure Flächenräume des Meeresgrundes von tonigen Sedimenten bedeckt sind. Indessen tragen diese Schlammassen keineswegs einheitlichen Charakter. Man unterscheidet zwei Hauptgruppen: den Kontinentalschlamm mit den verschiedenen Varietäten des Blau-, Grün- und Rotschlammes und den Roten Ton der Tiefsee.

Der Kontinentalschlamm führt seinen Namen, weil er einen Gürtel um die Kontinente bildet. Er beginnt jedoch nicht unmittelbar an der Grenze von Meer und Land; dort lagern vielmehr Kies- und Sandmassen, deren Körnchen im Vergleich mit dem feinen Material der tonigen Sedimente immer noch grob zu nennen sind. Erst in einiger Entfernung von der Küste, meist mit ziemlich raschem Übergange, stellt sich toniger Schlamm ein. Er bedeckt fast das ganze Gebiet der „Kontinentalstufe". Es ist dies ein Gürtel, der die Festländer umsäumt und gegen den offenen Ozean, bis zu einer Tiefe von rund 200 Metern, sich sehr langsam und allmählich niedersenkt. Dann kommt in der Regel ein

jäher Absturz bis zu etwa 2000 Metern, genannt die „Kontinentalböschung". Hinter ihr beginnt die Tiefsee, deren Boden wieder langsamer zu Tiefen von 4000—6000 Metern abfällt.

Das Gebiet der Kontinentalstufe gehört eigentlich noch zu den Festländern. Man darf sich vorstellen, daß in der gegenwärtigen Erdepoche die Grenzen zwischen Meer und Land zugunsten des Meeres verschoben sind. Ein Randsaum der Festländer, eben die Kontinentalstufe, ist ständig überflutet. Das war wahrscheinlich nicht immer so und wird sich in späteren Zeitaltern wieder ändern. Die wahre Gestalt der Kontinente weicht von den Umrissen der heutigen Festländer oft beträchtlich ab; eine ganze Reihe kleiner Meere und Meerbusen gehört zum Kontinentalgebiet.

Ein paar Beispiele mögen dies klarmachen. Denken wir uns das Meer rund um Europa bis zu 200 Metern Tiefe trockengelegt, so wären Nord- und Ostsee in der Hauptsache festes Land, Großbritannien und Irland untereinander und mit Westeuropa verbunden. Auch das Adriatische Meer wäre größtenteils trocken, dagegen blieben die übrigen Gebiete des Mittelmeers, wenn schon eingeengt, doch im großen und ganzen unter Wasser. Selbst die Straße von Gibraltar bliebe noch offen, und eine ähnliche Meerenge trennte das stark vergrößerte Sizilien von Tunis, während am Bosporus und an den Dardanellen Landbrücken von Europa nach Asien hinüberführten.

Noch größere Veränderungen erlitte das asiatische Festland. Persischer Golf, Gelbes Meer, Javasee, zum Teil auch der Bengalische Meerbusen lägen trocken, Ceylon wäre mit Vorderindien, Sumatra, Java und Borneo mit Hinderindien, Japan über Tsushima mit Korea und auf der anderen Seite mit Sachalin fest verbunden, das Japanische Meer also zu einem Binnensee degradiert. Von Alaska könnte man trockenen Fußes nach Sibirien, von Erythräa in gerader Linie nach Arabien und Persien gelangen, nur von einem seiner Nachbarkontinente, dem inselartigen Australien, bliebe Asien noch durch einige schmale Meereskanäle geschieden.

Das Gebiet der Kontinentalstufe ist also ziemlich umfangreich. Indessen beschränkt sich der Kontinentalschlamm keineswegs überall auf die „200-Meter-Zone". So bedecken seine Ablagerungen den Boden des gesamten Mittelländischen Meeres, das doch Tiefen bis zu 4400 Metern aufweist. In den Ozeanen herrscht jenseits des großen Absturzes, der 2000-Meter-Linie, zwar im großen und ganzen kalkiger Tiefseeschlamm (Globigerinenschlick, vgl. S. 153), aber die Ausnahmen sind zahlreich, in denen der Kontinentalschlamm weit ins Gebiet der eigentlichen Tiefsee hinübergreift, so z. B. rings um Irland, ferner auf weite Strecken längs der amerikanischen und ostasiatischen Küste.

Globigerinenschlick ist das typische Sediment der mittleren Meerestiefen, nur ausnahmsweise reicht er weiter als 4500 Meter hinab. Im Atlantischen und Indischen Ozean, ferner auf dem „polynesischen Plateau" der Südsee bedeckt er riesige Flächenräume. In den allergrößten Tiefen verdrängt ihn wieder ein toniger Schlamm, der „Rote Tiefseeton", der, im Atlantik von geringerer Bedeutung, die ungeheuren Weiten des Stillen Ozeans nördlich vom Äquator fast ausschließlich beherrscht.

Nicht überall ist das Zwischenglied des Globigerinenschlicks entwickelt. Längs der Westküste Amerikas, von Alaska bis zum mittleren Chile, gehen fast überall die „kontinentalen" Schlammassen unmittelbar in die Tone der Tiefsee über.

Die beigegebene Karte gibt ein ungefähres Bild von der Verbreitung der „modernen" Meeressedimente. Man erkennt, wie der Kontinentalschlamm einen Gürtel um die Festländer bildet, aber auch die meisten kleinen Meere und Meerbusen erfüllt, wie im Atlantik der kalkige, im Pazifik der tonige Tiefseeschlamm die Vorherrschaft behauptet. Eingezeichnet ist auch die 200-Meter-Linie, zur Andeutung der „natürlichen" Grenzen der Kontinente. —

Roter Ton und Kontinentalschlamm unterscheiden sich nicht nur durch ihre Tiefenlage. Sie sind auch grundverschieden, was Aussehen, Zusammensetzung und Herkunft anlangt.

Der schlammige Gürtel der Festländer bildet sich aus den feinsten Teilchen des zerriebenen und zersetzten Gesteinmaterials, das die Flüsse ins Meer tragen, oder die Brandung von felsigen Küsten hinwegwäscht. Er gleicht hierin durchaus den urweltlichen Tongesteinen: weiche, schlammige „Tonsubstanz", oft stark mit Kalk vermischt, darin massenhaft winzige Quarzsplitter, spärlicher solche von Feldspat, Glimmer und anderen Mineralien. Dazu kommen noch allerhand pflanzliche und tierische Reste. Im ganzen ist die chemische Zusammensetzung des Schlammes großen Schwankungen unterworfen. So geht er durch Zunahme des Kalkgehalts ganz allmählich in die

früher besprochenen kalkigen Sedimente der Flach- und Tiefsee über. —

Wenn sich Kontinentalschlamm ablagert, ist er infolge seines Gehalts an wasserhaltigen Eisenoxyden braun bis rotbraun gefärbt. Die Färbung bleibt aber nur in der jeweils obersten Schicht erhalten. Sowie diese von neuen Schlammassen zugedeckt wird, bewirken die verwesenden organischen Stoffe eine Reduktion des Eisenoxyds, d. h. sie entziehen ihm den Sauerstoff, der sich nunmehr mit dem organischen Kohlenstoff zu Kohlensäure verbindet. Es ist dies ein Vorgang, der, wie früher gezeigt, für die „Diagenese" der Meeresablagerungen große Wichtigkeit besitzt (vgl. S. 156); denn die so entstandenen, sehr bedeutenden Kohlensäuremengen wirken stark lösend auf die im Schlamm steckenden Kalkskelette und kalkigen Mineralkörner und veranlassen ihre Umkristallisation.

Das freigewordene Eisen vereinigt sich mit Schwefel zu Schwefeleisen, welch letzteres dem Kontinentalschlamm seine überwiegend blaue bis schwarzblaue Farbe verleiht. Woher aber kommt der Schwefel?

Teilweise wohl auch aus den verwesenden Organismen. Schwefel nimmt ebensogut wie Phosphor teil am Aufbau der Gewebe und Säfte vieler Meerestiere. Aber nur zum kleineren Teil entstammt er dieser Quelle. Schwefelsaure Salze sind in ansehnlichen Mengen im Meerwasser gelöst; auch sie werden „reduziert", ihr Sauerstoff zur Kohlensäurebildung verwendet. Einfache Schwefelverbindungen („Sulfide") bleiben zurück, die aber im Meerwasser ziemlich unbeständig sind. Es scheidet sich schließlich reiner Schwefel ab, der sich langsam mit dem freigewordenen Eisen verbindet.

In der obersten Schicht des Schlammes, die mit dem Seewasser in unmittelbarer Berührung steht, kann keine „Reduktion" stattfinden; das verhindert der im Wasser gelöste Sauerstoff. Diese Schicht behält ihre rotbraune Farbe, solange sie zu oberst verbleibt. —

Blau ist also der herrschende Farbenton im Gebiet des Kontinentalschlammes. Indessen kommt auch Grün und Rot vor. „Grünschlamm" verdankt seine abweichende Farbe reichlichem Gehalt an Glaukonit, einem tiefgrünen, ziemlich rätselhaften Mineral, das vornehmlich als Ausfüllung (Steinkern) von Foraminiferengehäusen auftritt. „Rotschlamm" ist auf gewisse Bezirke der tropischen Meere beschränkt und entstammt zweifellos der zu Laterit (S. 145) zersetzten Deckschicht der Tropengesteine.

Ein Rotschlamm ist auch der Ton der Tiefsee. Aber mit lateritischen Bildungen hat er nichts zu tun, überhaupt bezieht er sein Material nur zum allergeringsten Teil aus der Verwitterung festländischer Gesteine. Von der „Flußtrübe" gelangen nur kleine Mengen hinaus in die Absatzgebiete der Tiefsee. Schuld daran trägt die merkwürdige Eigenschaft des Salzwassers, klärend auf schlammiges Süßwasser zu wirken, was zur Folge hat, daß der bei weitem größte Teil der Flußtrübe, vor allem das gesamte sandige Material, nahe der Küste zu Boden sinkt, daher der Kontinentalschlamm im allgemeinen nur einen schmalen Gürtel um die Festländer bildet. Immerhin lassen sich selbst mitten im Ozean noch tonige Partikeln nachweisen. So hat man beobachtet, daß Wasser des Atlantischen Ozeans von 51° nördl. Breite und 31° westl. Länge (Greenwich), also etwa von der Mitte zwischen Irland und Neufundland, auf ein Kubikmeter 5,2 Gramm allerfeinster, schwimmender Tonteilchen enthält.

Die Hauptmasse des Roten Tons bilden zersetzter vulkanischer Sand und Bimsstein. Dergleichen Material kann natürlich festländischen wie unterseeischen Vulkanen entstammen. Bimssteinbruchstücke finden sich von Kopfgröße bis hinunter zu den kleinsten Körnchen in sehr verschiedenen Stadien der Zersetzung. Manche sind kaum angegriffen, andere schon so zersetzt, daß von dem schaumigen Gefüge kaum noch etwas zu erkennen ist. Alle Gemengteile des Bimssteins: Feldspate, Hornblende, Augit, Magneteisen, vulkanisches Glas, lassen sich überall im Roten Ton leicht nachweisen.

Merkwürdig sind die an manchen Stellen massenhaft im Roten Ton vorkommenden Mangan knollen: schwarze, runde Gebilde aus Manganhydraten, die im Kern einen organischen Rest (z. B. einen Haifischzahn) oder ein Gesteinbruchstück enthalten.

Während Kontinentalschlamm stets mehr oder weniger kalkreich ist, tritt im Roten Ton der Kalkgehalt ganz in den Hintergrund und verschwindet in den allergrößten Tiefen fast gänzlich. Da nun kalkschalige Lebewesen (Foraminiferen, Pteropoden) überall frei im Meer umherschwimmen, ihre Schalen also nach dem Tode der Tiere zu Boden sinken, so müßten sie wie im Globigerinenschlick, so auch im Roten Ton sich in großen Mengen ansammeln. Das ist nun, wie erwähnt, nicht der Fall. Wie erklärt sich diese Erscheinung?

Zweifellos sinken auch über Roten-Tongebieten jahraus, jahrein zahllose kalkige Schalen der verschiedensten Meerestiere in die Tiefe, aber sie kommen nicht auf dem Meeresgrunde an; das unter hohem Druck stehende Wasser der Tiefsee löst sie unterwegs auf. Die lösende Kraft wächst mit zunehmendem Drucke, also mit zunehmender Tiefe; daher dünnschalige Gehäuse, wie z. B. Pteropodenschalen,*) zumeist schon unterhalb 3000 Meter der Zerstörung anheimfallen, während typischer Foraminiferenschlick noch bei 5000 Metern beobachtet wurde, und einzelne dickschalige Kalkreste selbst in den tiefsten Abgründen der Ozeane eine Zeitlang erhalten bleiben.

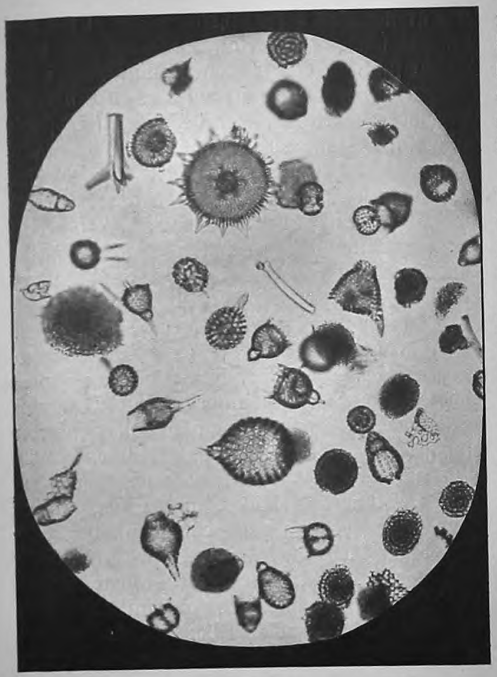


Abb. 169. Fossile Radiolarien von Barbados. (Phot. v. d. Trappen.)

In den Bodensedimenten des Golfs von Mexiko hat man Pteropodenschalen in allen Stadien des Zerfalls und der Lösung massenhaft aufgefunden. Die größte Tiefe beträgt hier nicht ganz 4000 Meter.

Wie bekannt, scheiden viele Meeresorganismen, z. B. Diatomeen, Radiolarien, viele Schwämme usw., kieselige Skelette aus. Diese widerstehen der lösenden Tätigkeit des Seewassers unvergleichlich besser als selbst sehr dicke Kalkgehäuse, daher man ihre Reste im Roten Ton häufig in bedeutenden Mengen antrifft. Namentlich die so ungemein mannigfaltigen, oft wunderbar schönen Kieselskelette der Radiolarien („Strahlinge" Haeckels) nehmen in manchen Bezirken derart zu, daß man das Sediment direkt als „Radiolarienschlick" bezeichnet, obwohl es nichts weiter ist als ein radiolarienreicher Roter Ton (Abb. 169). Immerhin wird auch von diesen Gebilden ein Teil durch das Wasser der Tiefsee aufgelöst. —

Fassen wir das Gesagte zusammen, so besteht Roter Ton wesentlich aus Tonsubstanz, frischen und halbzersetzten vulkanischen Auswurfstoffen, Eisen-Mangan-Knollen und kieseligen, organischen Resten. Gegenüber dem Kontinentalschlamm ist namentlich die Spärlichkeit des Kalkes und der dort so typischen, aus der Flußtrübe stammenden, kleinen Quarzsplitter bezeichnend.

Eben diese Merkmale ziehen auch eine scharfe Grenze zwischen Rotem Ton und den urweltlichen Tongesteinen. Nirgends hat man in letzteren Bimsstein oder ähnliches vulkanisches Material nachweisen können, auch Manganknollen sind außerordentlich selten, während die kleinen Quarzbruchstücke einen regelmäßig wiederkehrenden Hauptbestandteil ausmachen.

So wären unsere Tone und Tonschiefer im großen und ganzen Ablagerungen der Flachsee, nahe den Küsten urzeitlicher Kontinente aus Flußtrübe und Brandungsschlamm entstanden?

Diese Auffassung würde vorzüglich zu der oft behaupteten „Konstanz der Ozeane" passen. Die tieferen Teile der Ozeanbecken sollen schon in den ältesten Zeiten, aus denen uns Reste von Lebewesen überliefert sind, vom Wasser bedeckt gewesen und es seitdem immer geblieben sein. Jene Abgründe der Erdkruste hätten allen Hebungen, allen Angriffen des glühenden Erdinnern getrotzt, und die Sedimente, die sich auf ihrem Grunde anhäuften, hätten niemals das Licht der Oberwelt erblickt.

Aus Gründen, die im nächsten Abschnitt ausführlich erörtert sind, können wir uns dieser Theorie nicht anschließen. Die vergleichende Geologie, unterstützt von der Tier- und Pflanzen-

*) Pteropoden oder Flossenfüßer sind freischwimmende Schnecken, die statt des „Fußes" zwei flügelartige Flossen am Vorderende des Körpers tragen. Manche sind nackt, andere besitzen dünne, durchsichtige Schalen. Die Pteropoden halten sich zumeist in dichten Schwärmen in der offenen See auf und kommen erst bei Nacht an die Oberfläche.

geographie, hat zahlreiche gewichtige Beweise für die ehemalige Existenz mächtiger Festländer im Atlantischen, Indischen und Stillen Weltmeer entdeckt. Nur verhältnismäßig kleine Teile der Ozeanbecken, z. B. das zwischen dem 20. und 40. Grad nördlicher Breite gelegene Gebiet des Atlantiks, scheinen seit der fernsten Urzeit (Kambrium) unbestrittener Besitz des Meeres geblieben zu sein.

Anderseits gibt es z. B. auf dem gegenwärtigen asiatischen und nordamerikanischen Kontinent ungeheure Flächenräume trockengelegten Ozeanbodens. Hier könnte man am ersten erwarten, Ablagerungen zu finden, die dem Roten Ton der Gegenwart glichen. Aber die kommen nirgends vor, und auch andere Sedimente von zweifellosem Tiefseecharakter sind nur ausnahmsweise nachweisbar, wie z. B. gewisse Radiolariengesteine (Radiolarite), die nichts anderes sind als verfestigter Radiolarienschlick (vgl. oben). Sieht man von solchen Ausnahmen ab, so bleiben als hauptsächliche Sedimente jener vorweltlichen Meere Sandsteine, Kalksteine, Mergel, Dolomite und Tongesteine übrig. Sandsteine entstehen nur in der Flachsee, Kalksteine und Mergel, wie die Verbreitung des Globigerinenschlicks zeigt, höchstens in Meeren mittlerer Tiefe. Dasselbe gilt von den Dolomiten, die ja zum weitaus größten Teil umgewandelte Kalke sind. Was endlich die Tone betrifft, so zeigen sie eine so weitgehende chemische wie mineralische Übereinstimmung mit den Schlammassen der heutigen Flachsee, daß wir nahezu die gleichen Entstehungsbedingungen für sie voraussetzen müssen.

Nach alledem ist es wahrscheinlich, daß die verschwundenen Ozeane der Vorwelt im Durchschnitt eine Tiefe von nur 2000 bis 2500 Meter besaßen.*) Weite Strecken gehörten überhaupt zur Flachsee, und nur an einzelnen Stellen senkte sich der Grund bis zu einer Tiefe, wo die Existenz von Radiolarien möglich war, deren winzige Panzer zu Billionen den hier sich bildenden Schlamm erfüllten.

*) Selbstverständlich ist damit nicht gemeint, daß die Ozeane der Vorwelt überhaupt eine so geringe mittlere Tiefe besaßen. Es gibt ja verschiedene Meeresbecken, die, soviel wir wissen, niemals Land gewesen sind, und hier mag die durchschnittliche Tiefe viel bedeutender gewesen sein.

Die Metamorphose der Tongesteine.

Können wir uns, dank der modernen Ozeanforschung, von der Bildung mariner Tone eine ziemlich klare Vorstellung machen, so geraten wir alsbald wieder ins Dunkel entgegengesetzter Meinungen und Hypothesen, sowie wir an die Genesis der Tonschiefer herantreten. Es handelt sich weniger um die Frage, welchen Kräften diese Gesteine ihre oft so vollkommene Schieferung verdanken, als um die Erklärung ihrer höheren kristallinischen Entwicklung (vgl. S. 175).

Hier scheint sich auf den ersten Blick eine merkwürdige Perspektive zu öffnen. Man hat den Eindruck, als übe das geologische Alter einen bestimmenden Einfluß aus.

Überblickt man die Reihe der Tongesteine, so fällt auf, daß die plattigen, verbandsfesten Schiefer überwiegend sehr alten Zeiträumen entstammen, während die lockeren, wenig oder gar nicht schieferigen Tone verhältnismäßig junge Bildungen sind.

Berühmte Beispiele für den ersten Fall liefern die Tonschiefer Schwedens aus kambrischer und silurischer Zeit, berühmt durch ihren Reichtum an Trilobiten, jenen urzeitlichen, der Länge wie der Quere nach dreigeteilten Krebsen, sowie an den noch weit rätselhafteren, oft langen, gefiederten Blättern gleichenden Graptolithen (Abb. S. 66). Erratische Geschiebe dieser skandinavischen Tonschiefer findet man über ein weites Gebiet der Norddeutschen Tiefebene verstreut. Graptolithenschiefer sind lokal auch im Harz und in den thüringisch-sächsischen Bergländern entwickelt.

Lockere, ungeschieferte Tone (Tegel, Letten) aus jüngerer, namentlich tertiärer Zeit sind in Deutschland und den meisten benachbarten Ländern so häufige Erscheinungen, daß auf die Anführung besonderer Vorkommnisse wohl verzichtet werden darf.

Diese Abhängigkeit der Beschaffenheit eines Gesteins von seinem Alter hat zweifellos etwas sehr Auffälliges. Werden alle Tone allmählich zu festen Tonschiefern? Liegt hier der Fall einer unmeßbar langsamen Metamorphose vor, die Jahrmillionen gebraucht, bis sie zum Ziele gelangt?

Schwerlich. Es gibt Ausnahmen, sehr krasse Ausnahmen, die zum mindesten dartun, daß von einer allgemeinen, überall und jederzeit wirksamen Metamorphose keine Rede sein kann.

In den russischen Ostseeprovinzen finden sich ausgedehnte Ablagerungen lockerer Tone von ganz „jugendlichem" Aussehen, die in Wirklichkeit dem Kambrium, also der zweitältesten geologischen Periode, entstammen. Sie ruhen dort, wo wir sie jetzt antreffen, seit unvorstellbar entlegenen Zeiten, ungestört, nicht im geringsten verändert.

Auch das Gegenstück fehlt nicht, — es sind die uns schon bekannten „Fischschiefer" der Glarner Alpen, Gesteine von so vollkommener, gleichmäßiger Schieferung, so kompakt und verbandsfest, daß sie des höchsten Alters würdig scheinen. Und doch sind es Kinder im Vergleich mit den greisenhaften russischen Tonen. Die

Abb. 170. Dünnschliff eines gefältelten Tonschiefers aus der Via Mala, Graubünden. Vergr. 30:1. (Nach Rosenbusch.)

Knochenfische, die so massenhaft darin vorkommen, weisen mit Sicherheit auf ein tertiäres, also recht jugendliches Alter.

Man erkennt, die Sache bedarf einer besseren Erklärung. In der Tat ist es nicht das Alter, sondern die Lagerung der Tongesteine, die mit ihrer Metamorphose in ursächlichem Zusammenhang steht.

Wohlentwickelte Tonschiefer kommen ausschließlich in gefaltetem Gebirgsland vor. Die Gebirgsbildung ist — direkt oder indirekt — Ursache der Schieferung und höheren kristallinischen Entwicklung. Sie hat seit dem Absatz der ältesten Sedimente ungemein weite Gebiete der Erdoberfläche umgestaltet; da ist es kein Wunder, daß sehr viele der ältesten Tongesteine ihre Wirksamkeit verspürt haben. Wo aber ein Bezirk von Faltungsvorgängen verschont blieb, konnten selbst sehr alte Schichten ihren ursprünglichen Zustand bewahren. Dies war z. B. der Fall in den russischen Ostseeprovinzen, wo die kambrischen Tonlager sich noch heute in ungestörter, fast horizontaler Lagerung befinden.

Die Alpen wurden in der Tertiärzeit aufgestaut. Das erklärt zur Genüge, warum dort (wie auch z. B. in den gleichalterigen Karpathen) tertiäre Tone intensive Veränderungen erlitten haben.

Wie wirkt aber nun die Gebirgsbildung? Lediglich durch mechanischen Druck?

Soweit es sich nur um das Zustandekommen der Schieferung handelt, darf man diese Frage bejahen. Sorby, Tyndall, Daubrée u. a. haben Wachs, Ton und gewisse Metalle durch Druck künstlich „geschiefert". Erforderlich war dabei dreierlei: ein starker, einseitiger Druck, ein gewisser Grad von Plastizität der gepreßten Stoffe, endlich die Möglichkeit eines seitlichen Ausweichens der Stoffteilchen. Daß diese Bedingungen für Tone, die in den Bereich gebirgsfaltender Kräfte gelangten, im allgemeinen erfüllt waren, ist einleuchtend. Welch kräftigem Druck die Tonschiefer in den Faltengebirgen ausgesetzt waren, erkennt man an ihrer intensiven Fältelung, die an zahlreichen Punkten der Alpen, z. B. in der Via mala und am Schynpaß, aufs prächtigste entwickelt ist. Man hat den Eindruck, als seien die Schichten in erweichtem Zustand von gigantischen Kräften durcheinander geknetet und zusammengepreßt worden. Die Fältelung setzt sich bis ins innerste, feinste Gefüge des Gesteins fort und kann daher auch unter dem Mikroskop in allen Einzelheiten studiert werden (Abb. 170).

Größere Schwierigkeiten bietet die Erklärung der Umkristallisation, die offenbar mit der Schieferung Hand in Hand ging. Hier lichtet sich das Dunkel ein wenig, wenn wir um eine Stufe höher steigen. Die Tonschiefer sind nämlich in Wirklichkeit nur Zwischenglieder, Übergangsformen zu vollkommen kristallinisch entwickelten Gesteinen. Die nächst höhere Stufe vertreten die Glanzschiefer oder Phyllite.*) Sie sind uns schon bekannt als äußerste, entfernteste Glieder der Kontakthöfe von Tiefengesteinen (S. 134), kommen aber weit häufiger und in viel größerer Ausdehnung in Gebieten vor, wo von Graniten und anderen

*) „Phyllite", vom griechischen phyllon „Blatt", wegen der oft sehr blätterigen Beschaffenheit dieser Schiefer.

Tiefengesteinen weit und breit nichts zu sehen ist. Also ganz derselbe Fall wie beim „Urkalk" (S. 166); die Metamorphose ist vorhanden, aber ihre Ursache auf den ersten Blick völlig rätselhaft. Der nämliche Kampf der Meinungen und Hypothesen dreht sich um Urkalke, wie Glanzschiefer; vulkanischer und dynamischer Metamorphismus stehen einander gegenüber, und auf beiden Seiten wissen die Streiter mancherlei Gewichtiges zu ihren Gunsten anzuführen. Ein näheres Eingehen auf die hier zur Diskussion stehenden Fragen müssen wir uns an dieser Stelle versagen.

Die Glanzschiefer bedeuten noch keineswegs das Ende der Entwicklung. Wie sie in den Kontakthöfen allmählich in vollkommen kristalline, mineralreiche Hornschiefer und Hornfelse übergehen, entwickeln sie sich anderwärts vielfach zu echten Glimmerschiefern. Dabei ändert sich das innere Wesen, der Charakter der Gesteine, nicht; die Unterschiede sind rein äußerlich. Während die Schieferflächen der Glanzschiefer von einem dichten Gewebe zarter Glimmerhäutchen überzogen sind, das ihnen einen bald fettartigen, bald seidigen Glanz verleiht, ist der Glimmer der Glimmerschiefer zu einzelnen, mit bloßem Auge gut unterscheidbaren Blättchen differenziert. Vom zweiten Hauptgemengteil, dem Quarz, sieht man bei den Phylliten ohne Vergrößerung oft gar nichts, oft nur papierdünne Lagen, die sich auf dem Querbruch als feine, helle Linien abzeichnen; in den Glimmerschiefern dagegen ist der Quarz zu weit dickeren Lagen, zu „Linsen" und „Knoten", entwickelt. Der Unterschied betrifft also nur die Korngröße.

Indessen tritt bei den Glimmerschiefern eine Erscheinung sehr auffällig hervor, die sich in gleicher Vollkommenheit nur bei einer Minderzahl der Phyllite findet (Abb. 171), das ist ihr reichlicher Gehalt an neugebildeten Mineralien. Die erste Stelle gebührt dem Granat, dessen oft sehr ansehnliche Kristalle in düsterem Rot aus der einförmigen Schiefermasse hervorleuchten. Wer in den Zentralalpen, z. B. im Stubaier oder Zillertaler Gebiet, gewandert ist, kennt zweifellos dergleichen Gesteine aus eigener Anschauung. Sie bauen dort ganze Gebirgskämme auf. Die Granaten lassen sich oft leicht herausbrechen und zeigen dann mehr oder weniger gut die Form eines regelmäßigen, von lauter Rhomben begrenzten Zwölfflächners. Auch in den deutschen Mittelgebirgen, namentlich in den Sudeten, trifft man stellenweise schöne Granatglimmerschiefer.

Andere Neubildungen sind der pfirsichblütfarbene Andalusit, der blaue Zyanit oder Disthen, brauner Staurolith, grüne Hornblende, weißer Feldspat und noch andere. Auch der borhaltige Turmalin, das Merkzeichen vulkanischer Beeinflussung, fehlt fast keinem Glimmerschiefer, seine kleinen, dunkeln Prismen werden aber meistens erst unter dem Mikroskop sichtbar. Alle diese Mineralien bezeugen die ungemein wirksame Kraft der Metamorphose, die aus unscheinbaren, dichten Tongesteinen die prächtigen, vollkristallinen Glimmerschiefer hervorzauberte.

Daß die Metamorphose ihren Ursprung in der Tiefe nahm, in den untersten Schichten sich am stärksten betätigte und nach oben hin allmählich an Kraft verlor, also ganz so wirkte, als ob sie von einem vulkanischen, in großer Tiefe gelegenen Herde ausginge, läßt sich vorzüglich in den thüringisch-sächsischen Bergländern beobachten. Hier ruhen übereinander in der Richtung von oben nach unten folgende Schichten:

Abb. 171. Dünnschliff eines Phyllits mit neugebildeten Granat- und Biotitkristallen. Val Piora bei Airolo. Vergr. 30:1. (Nach Rosenbusch.)

7. Untersilurische Tonschiefer mit Trilobiten. — oben
6. Kambrische Phykodenschiefer.*)
5. Versteinerungsleere Tonschiefer.
4. Phyllitartige Tonschiefer, ebenfalls ohne Versteinerungen.
3. Normale Phyllite (Glanzschiefer).
2. Glimmerschiefer.
1. Gneis. — unten

*) So benannt nach Phycodes, einer Seetanggattung, die sie in zahlreichen Exemplaren enthalten.

Diese ganze Schichtenreihe bildet, wenn man sich so ausdrücken darf, ein organisches Ganzes. Die einzelnen Ablagerungen sind im allgemeinen parallel, mit gleichem Streichen und Fallen der Schichten (in „konkordanter" Lagerung) übereinander geordnet und durch Übergänge so eng miteinander verknüpft, daß sich nirgends scharfe Grenzen zwischen den einzelnen Gliedern ziehen lassen. Wo das Kambrium beginnt und wo das Silur, — welche Schiefer „noch archäisch" sind, und welche „schon präkambrisch", läßt sich in vielen Fällen gar nicht angeben, und ebenso allmählich wie die normalen, Versteinerungen führenden Tonschiefer in versteinerungsleere Phyllite übergehen, vollzieht sich die Wandlung der letzteren in vollkristalline Glimmerschiefer. Alles ist ein Guß, ein Ganzes, bis hinab zu den „Gneisen", die wahrscheinlich nichts anderes sind als von granitischem Magma ganz und gar durchtränkte Glimmerschiefer.

Als Ergebnis wäre zu merken: Ton-, Glanz- und Glimmerschiefer stellen verschiedene Entwicklungsstufen der gleichen schlammigen Meeresabsätze dar und unterscheiden sich lediglich durch den Grad der Metamorphose, die sie erlitten. Bei den Tonschiefern ist sie in den allerersten Anfängen steckengeblieben, die Phyllite sind noch unvollkommen, die Glimmerschiefer dagegen sehr intensiv umgewandelt.

Über die Verwitterung der Tongesteine ist nichts von Bedeutung zu berichten. Ton wird von der fortschreitenden Verwitterung kaum noch verändert, und Tonschiefer zerfallen sehr leicht und rasch zu einem mulmigen Grus, den die abtragenden Kräfte zumeist rasch fortführen. Wo Ton- und Glanzschiefer auf weite Strecken den Untergrund bilden, herrschen im Landschaftsbild weiche, gerundete Formen, gleichmäßig abgeböschte Hänge, Täler mit V-förmigem Querschnitt. Irgendwie auffallende Terrainformen, schroffe Felsen, spitze Gipfel, tiefe Schluchten, fehlen in der Regel gänzlich. Ebensowenig können sich Felsenmeere oder ähnliche Blockmassen bilden, da die Schiefer gleich von vornherein in einen feinen, blätterigen Schutt zerfallen. Das Gesamtbild einer Schieferlandschaft ist in hohem Grade einförmig.

Karte der Tiefseesedim

Die 200 m-Tiefenlinie ist rot ausgezogen, nur im nördlichen Eismeer, wo ihr Verlauf im einzelnen noch nicht feststeht, ist s
oberen Rand der Kontinente. Auf weite Strecken, namentlich an den amerikanischen und afrikanischen Küsten, verlä

ente und Meerestiefen

ie punktiert. Jenseits dieser Linie fallen die Kontinentalmassive steil ab zur Tiefsee, sie bezeichnet also den äußersten
ft die Linie so nahe der wirklichen Küste, daß sie auf einer Karte kleinen Maßstabes nicht davon getrennt werden kann.

Vierter Abschnitt.

Der Kampf zwischen Land und Meer.

Erstes Kapitel. Festländer und Weltmeere.

Im ersten Buch seiner „Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit" stellt Herder den Satz auf: „Der Planet, den wir bewohnen, ist ein Erdgebirge, das über die Wasserfläche hervorragt," und begründet dies, wie folgt: „Der simple Anblick einer Weltkarte bestätigt dieses. Ketten von Gebirgen sind's, die das feste Land nicht nur durchschneiden, sondern die auch offenbar als das Gerippe dastehen, an und zu dem sich das Land gebildet hat. In Amerika läuft das Gebirge längs dem westlichen Ufer durch den Isthmus hinauf. Es geht quer hin, wie sich das Land ziehet; wo es mehr in die Mitte tritt, wird auch das Land breiter, bis es sich über Neumexiko in unbekannten Gegenden verlieret . . . Amerika ist also, selbst seiner Figur nach, ein Erdstrich, an seine Berge gehängt und gleichsam an ihren Fuß ebner oder schroffer hinangebildet.

Die drei andern Weltteile geben einen zusammengesetzteren Anblick, weil ihr großer Umfang im Grunde nur ein Weltteil ist; indessen ist's auch bei ihnen ohne Mühe kennbar, daß der Erdrücken Asiens der Stamm der Gebirge sei, die sich über diesen Weltteil und über Europa, vielleicht auch über Afrika, wenigstens über seinen oberen Teil verbreiten. Der Atlas ist eine Fortstreckung der asiatischen Gebirge, die in der Mitte des Landes nur eine größere Höhe gewinnen und sich durch die Bergreihen am Nil wahrscheinlich mit den Mondsgebirgen verbinden. . . .

Genug, auch in diesen Weltteilen ist offenbar das Land den Gebirgen angebildet. Alle seine Strecken laufen parallel den Ästen der Berge; wo diese sich breiten und verästigen, breiten sich auch die Länder. Dies gilt bis auf Vorgebirge, Inseln und Halbinseln. Das Land streckt seine Arme und Glieder, wie sich das Gerippe der Gebirge streckt; es ist also nur eine mannigfaltige, in mancherlei Schichten und Erdlagen an sie angebildete Masse, die endlich bewohnbar worden."

Weiterhin spricht sich Herder mit Entschiedenheit gegen alle Versuche aus, die den Verlauf der Gebirgsketten auf mathematische Grundsätze, etwa auf die Richtungen des Äquators und der Meridiane, zurückführen wollen. Er fordert ein physisches Naturgesetz, das die Bildung der Gebirge und mit dieser auch die Bildung des festen Landes erkläre. „Ob sich nun ein solches physisches Naturgesetz finden ließe, ob sie als Strahlen aus einem Punkte oder als Äste aus einem Stamm oder als winklichte Hufeisen dastehen, und was sie, da sie als nackte Gebirge, als ein Gerippe der Erde hervorragten, für eine Bildungsregel hatten — dies ist die wichtige, bisher noch unaufgelöste Frage, der ich eine genugtuende Auflösung wünschte."

Seit Herder diese Zeilen schrieb, sind rund 125 Jahre verflossen. Die gewaltigsten Fortschritte auf allen Gebieten, nicht zum wenigsten in der Naturwissenschaft, hat das neunzehnte Jahrhundert gebracht, zahlreiche Probleme hat die fortschreitende Erkenntnis gelöst oder mindestens ein gutes Stück Weg der Lösung näher geführt, aber von den letzten Ursachen der Gebirgsbildung wissen wir noch immer nichts Sicheres, ja es scheint, als würde das Problem desto schwieriger, je mehr die Kenntnis von dem oft sehr verwickelten Bau der Festländer und ihrer „Strebepfeiler", der Faltengebirge, sich vertieft. So viel hat man eingesehen: ein allgemein gültiges Naturgesetz der Gebirgsbildung, wie Herder es forderte, kann es aus dem Grunde nicht geben, weil die Gebirge offenbar verschiedenen und zu verschiedener Zeit wirkenden Kräften ihre Gestaltung verdanken.

Um uns von der Mannigfaltigkeit dieser Kräfte einen vorläufigen Begriff zu verschaffen, wollen wir einmal in der deutschen Gebirgswelt Umschau halten. Einen sehr typischen Fall führt uns das Elbsandsteingebirge vor Augen, dem man seiner malerischen Szenerien wegen mit Recht den Namen „Sächsische Schweiz" ge-

geben hat; denn die trotzigen Felsburgen, die wagehalsig dastehenden Türme (Abb. 172) und Säulen passen nicht recht in ein zahmes mitteldeutsches Bergland, sie scheinen der Formenwelt eines wild zerrissenen Hochgebirges, wie es z. B. die Dolomiten sind, entnommen zu sein. Beim Anblick all der merkwürdigen Felsgebilde bekommt man geradezu den Eindruck, als sei die Erdrinde infolge einer gewaltigen Naturkatastrophe an zahlreichen Stellen zerrissen, wobei bedeutende Teile des Gebirges vom Abgrund ver-

Abb. 172. Die „Katzenkirche" in der Sächsischen Schweiz.

schluckt wurden, während die übrigen als seltsam gestaltete Ruinen stehenblieben. In Wirklichkeit haben sich die Vorgänge ganz sanft und friedlich, ohne jegliche Mithilfe unterirdischer Gewalten abgespielt; es war die stille, langsam nagende Tätigkeit des Wassers, die im Bunde mit der atmosphärischen Verwitterung ein altes, einförmiges Kreideflachland in eine pittoreske Felsenlandschaft verwandelte.

Auf ganz anderem Wege ist z. B. das Siebengebirge entstanden, — hier hat das Wasser nur nachträglich mancherlei am Relief geändert, indem es die Höhen erniedrigte und die Täler teils vertiefte, teils ausfüllte; aber die Auftürmung der prächtigen Kuppen und domförmigen Bergrücken, ihre Anordnung zu einem Gebirge von selten schöner Formenharmonie war ausschließlich das Werk der vulkanischen Kräfte. Wieder anders liegen die Verhältnisse im hessischen und südhannoverschen Bergland: hier ist Wahrheit, was in der Sächsischen Schweiz nur Schein war; das ganze Gebiet, ebenfalls ein altes Tafelland, ist durch zahllose Brüche zerstückelt, und die einzelnen, aus dem Zusammenhang gerissenen Schollen haben sich in mannigfacher Weise gegeneinander verschoben; Schichten, die ursprünglich im gleichen Niveau lagen, bilden hier den Kamm eines Bergrückens, dort den Untergrund eines tief eingeschnittenen Tales; kurz, es ist, als habe eine gigantische Kraft das ganze Land aus den Fugen gehoben und die Trümmer durcheinander geschüttelt. Dazu kamen noch an zahlreichen Punkten vulkanische Durchbrüche, deren Lavamassen sich über die Plateaus ausbreiteten oder eigene Kuppen und Kegel auftürmten. So sehen wir, wie zweierlei Kräfte, tektonische und vulkanische, gemeinschaftlich einen vormals ebenen Landstrich zu einem Gebirge umgestaltet haben.

Noch viel verwickelter ist die Entwicklungsgeschichte der alten, in der Steinkohlenzeit entstandenen Faltengebirge, von denen manche nach völligem Verschwinden in verjüngter Gestalt auferstanden sind und heutzutage als mächtige Bergmassive im Herzen unseres Vaterlandes emporragen. Um einem Bergland wie dem Thüringer Wald *) seine heutige Gestalt zu geben, waren seit karbonischer Zeit die verschiedenartigsten Kräfte an der Arbeit: tektonische und vulkanische, abtragende und auflagernde, landhebende und landsenkende. Was unter „tektonischen Kräften" zu verstehen ist, wurde schon früher (S. 81) erklärt; ihr Ursprung ist noch dunkel, und bei ihren vielseitigen Wirkungen dürften alle Bemühungen, sie auf eine einzige Grundursache, wie z. B. die Abkühlung des Erdinnern, zurückzuführen, vergeblich sein. Als wichtigster Vorgang tektonischen Ursprungs gilt die Auffaltung der Kettengebirge, nächstdem die Bildung von Brüchen und Spalten, an denen sich die gelockerten Erdschollen in senkrechter, schräger oder wagerechter Richtung verschieben. Beide

*) Die Geschichte des Thüringer Waldes wird im II. Bande ausführlich behandelt.

Gruppen tektonischer Bewegungen haben in der Geschichte des Thüringer Waldes eine bedeutende Rolle gespielt; die Faltung hat ihn erstmalig aus dem Schoße des unterkarbonischen Meeres emporgehoben, und die Entstehung weitreichender Brüche war die Veranlassung, daß er in der Tertiärzeit zum zweiten Male den Wassern entstieg. Dies ist jedoch nicht so zu verstehen, als ob das wiedererstandene Gebirge ein getreues Abbild des alten karbonischen Hochgebirges vorstellte; nur auf gewissen Strecken ist der ursprüngliche Bauplan noch erkennbar, während im übrigen jüngere Ablagerungen die alten Falten verdecken.

Die Oberfläche unseres Planeten läßt sich mit einem dreistöckigen Gebäude vergleichen: das Erdgeschoß bildet der Meeresgrund, wohlverstanden nicht der flache Grund in der Nähe der Küsten, sondern der im Durchschnitt 3650 m tiefe Boden der großen Weltmeere; darüber erhebt sich als Hauptgeschoß das Flachland der Kontinente, dem endlich die Gebirge als oberstes Stockwerk aufgesetzt sind. Um nun ein richtiges Bild von der Gestalt dieses großartigen Gebäudes zu gewinnen, muß man sich den Planeten ganz ohne Wasser denken. Dann bildet der Meeresgrund ein weites Tiefland, dessen Boden zum größten Teil völlig eben oder nach Art einer Hügellandschaft sanft gewellt ist, wie Abb. 173, ein Querschnitt durch den Großen Ozean von der chilenischen Küste bis in die Nähe von Neuseeland, klar veranschaulicht. Bei derartigen Profilen muß man beachten, daß sie stets bedeutend, im vorliegenden Fall hundertfach überhöht sind, d. h. die Höhe der vom Meeresboden aufragenden Inseln und Küstenränder ist hundertmal größer gezeichnet, als der Länge des ganzen Profils entspricht. Auf einem so kleinen Raum, wie der Seite eines Buches, ist es unmöglich, Längen und Höhen im richtigen Verhältnis darzustellen, weil letztere ganz und gar verschwinden würden; zu einer deutlichen Zeichnung wäre ein Streifen Papier von mehreren Metern Länge erforderlich. Daraus gewinnen wir eine Vorstellung von der ungeheuren Ausdehnung jener flachen, eintönigen Meeresgründe, die, wie Krümmel sich ausdrückt, dem Auge „Ansichten von unglaublicher Langweiligkeit" darbieten würden. Sieht man von den Küsten der Festländer ab, so gibt es nur zweierlei Terrainformen, die den gleichmäßigen Bau des Ozeanbodens hier und da unterbrechen: vereinzelte, schroff aufsteigende Berge, die ozeanischen Inseln, und, als Gegenstück dazu, tiefe Rinnen oder Becken, gleichsam ungeheure Löcher im Meeresgrund, die an ihren tiefsten Stellen noch 5—6000 m weiter hinabreichen, als die mittlere Tiefe der Ozeane beträgt.

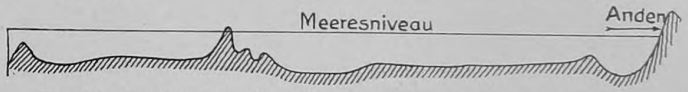


Abb. 173. Profil durch den Großen Ozean auf dem 25. Grad südlicher Breite. Längenmaßstab 1 : 80 000 000. Höhenmaßstab 1 : 800 000.

Was zunächst die ozeanischen Inseln betrifft, so sind sie zum großen Teil nichts anderes als unterseeische Vulkane, die im Lauf der Zeit durch wiederholte Ausbrüche so hoch geworden sind, daß sie die Meeresfläche oft Hunderte, ja Tausende von Metern überragen.

Die großartigste Schöpfung dieser Art ist die aus einem 6000 m tiefen Meere aufsteigende Insel Hawai, gipfelnd in dem fast Montblanchöhe erreichenden Riesenvulkan Mauna Kea (vgl. S. 105). Die meisten Vulkaninseln liegen in Gruppen beieinander oder bilden gekrümmte Reihen („Inselgirlanden"), doch treten manche ganz unvermittelt mitten in der Wasserwüste eines grenzenlosen Ozeans auf. Bezeichnend hierfür sind die drei einsamen Vulkaneilande des Südatlantischen Ozeans: Ascension, St. Helena und Tristan da Cunha, deren Feuerberge längst ausgebrannt und zum Teil von der Verwitterung so weit abgetragen worden sind, daß ihr inneres, aus massigem Fels erbautes Skelett zutage tritt.

Wenn ozeanische Inseln nicht aus Lavagesteinen im engeren Sinne, sondern aus Granit und anderen Tiefengesteinen oder aus alten Sedimenten bestehen, wird man sie als Trümmer ehemaliger Festländer ansehen, die bis auf jene unscheinbaren Reste in den Wellen verschwunden sind. Der Leser erinnert sich, daß mancherlei Umstände für die frühere Existenz eines großen nordatlantischen Kontinentes sprechen, der schon zur Devonzeit vorhanden war und wahrscheinlich erst im Laufe des tertiären Weltalters allmählich untersank. Im äußersten Norden sind noch ansehnliche Reste dieses uralten Festlandes erhalten: Grönland, Spitzbergen, Franz-Josephs-Land und einige kleine Inseln bilden offenbar Trümmer der versunkenen Atlantis. Weiter südlich ist nichts übriggeblieben;

nur der geheimnisvolle Fels Rockall, jene einsame, aus dem weiten Atlantischen Meer auftauchende Klippe, ist vielleicht die höchste Spitze eines uralten Kettengebirges, das den verschwundenen Kontinent durchquerte. Der merkwürdige Granitfels überragt die Wasserfläche um 20 m und steht auf einer breiten Untiefe, die nirgends höher als 180 m vom Meere bedeckt ist. Das Schleppnetz bringt vom Grunde dieser unterseeischen Bank massenhafte Schalen von Kammuscheln und anderen Weichtieren herauf, die in solcher Tiefe nicht hätten leben können, woraus man schließt, daß der Boden des Ozeans dort noch vor verhältnismäßig kurzer Zeit eine erhebliche Senkung erfahren hat. Aus was für Gestein die Untiefe besteht, ist nicht bekannt. Südwestlich von Rockall, wo das Meer einige tausend Meter tief ist, liegt eine unterseeische Klippe, der Faraday-Felsen, dessen Gehänge zum Teil die Steilheit eines Alpengipfels besitzen.

Von hoher Bedeutung war die nordische Atlantis für die Ausbreitung der ältesten plazentalen Säugetiere. Diese hatten ihre Urheimat wahrscheinlich in Nordamerika oder, wovon unten die Rede sein wird, auf einem inzwischen versunkenen Kontinent des Stillen Ozeans; denn ihre ältesten Reste finden sich in alteozänen Süßwasserschichten des Staates Neumexiko, in den sogenannten Puerco beds. Die Puerco-Tierwelt gleicht ganz und gar jener primitiven, hauptsächlich aus Sammeltypen bestehenden Säugetiergesellschaft, die wir aus frühtertiären Schichten der Umgebung von Reims kennen gelernt haben (S. 15), ist aber viel mannigfaltiger und formenreicher, so daß sie wie der Hauptstamm erscheint, von dem sich die bei Reims gefundene Fauna abgezweigt hat. Man schließt daraus, daß zu Beginn der Tertiärzeit ein Teil der plazentalen Säugetiere von Amerika nach Westeuropa hinüberwanderte, und da ihre Spuren in den östlichen Ländern (Rußland, Nordasien) fehlen, so müssen sie wohl den Weg über den nordatlantischen Kontinent benutzt haben.

Auch wo heute die blauen Fluten des Indischen Ozeans sich ausbreiten, war in entlegener Vorzeit festes Land. Madagaskar, das zur Hälfte aus einem Gewölbe kristallinischer Gesteine erbaut ist, und die aus einem 5000 m tiefen Meere aufsteigenden Seychellen sind Trümmer dieses ehemals sehr bedeutenden, mit Indien und Australien verbundenen Kontinentes. Auch er hat in den Theorien der Entwicklungsgeschichte eine gewisse Rolle gespielt; der Engländer Sclater hielt ihn für die Urheimat der Halbaffen und höheren Primaten und gab ihm aus diesem Grunde den Namen „Lemuria"; eine ähnliche Ansicht wurde zeitweilig von Haeckel vertreten, später aber aufgegeben. Nach der neueren Forschung dürfte die Wiege des Menschengeschlechts eher auf amerikanischem Boden zu suchen sein. Höchstwahrscheinlich war zur Zeit der Menschwerdung der alte indische Kontinent längst zerfallen. Seine größte Ausdehnung besaß er in den späteren Perioden des Altertums der Erdgeschichte; er ist bekannt als Schauplatz der rätselhaften karbonischen Eiszeit und als Heimat jener merkwürdigen, durch den zungenblätterigen Farn Glossopteris gekennzeichneten Pflanzenwelt, die nach Abschluß der Vergletscherung sich über ein ungeheuer weites Landgebiet ausbreitete (vgl. S. 58).

Das inselreichste aller Weltmeere ist, wie bekannt, der Stille Ozean, aber der Charakter der Inselwelt ist hier im großen und ganzen ein anderer: es sind vorherrschend Korallenbauten.

Hier stehen wir nun wieder vor einem Bündel Streitfragen. Über die Entstehung der Koralleninseln hat man die verschiedenartigsten Ansichten geäußert; wir wollen die wichtigsten Erklärungsversuche weiter unten besprechen, bemerken aber gleich, daß eine allseitig befriedigende Lösung des Problems noch aussteht. Mit dieser Frage ist eine andere eng verknüpft: ob es ehedem im Stillen Ozean große zusammenhängende Landmassen gegeben habe. Manche Geologen bestreiten dies entschieden; so sagt Fr. Frech: Der Stille Ozean ist das einzige Meer des Erdballs, welches trotz großer Veränderungen an seinen Grenzen niemals den Charakter des größten und tiefsten Meeresbeckens verloren hat. (Danach träfe für dies Weltmeer die Lehre von der Permanenz der Ozeane zu.) Andere Forscher nehmen zwar einen uralten „pazifischen" Kontinent an, verlegen aber seinen Untergang schon ins frühe Altertum der Erdgeschichte. Zurückweisen wird man auf alle Fälle die phantastische Annahme eines Riesenkontinentes, der das ganze ungeheure Areal jenes Ozeans bedeckt hätte. Es war dort Raum für mehrere, selbst ansehnlich große Festländer, und mancherlei Gründe sprechen dafür, daß drei von ihnen noch in der Tertiärzeit existierten: eines im Osten von Japan, eins weiter südlich, an Stelle des polynesischen Inselgewirres, und das dritte als eine Art westlicher Fortsetzung des amerikanischen Kontinentes, mit

dem es durch einige Landbrücken verbunden war. — Der japanische Kontinent ist rein hypothetisch und wird nur der herrschenden Gebirgsfaltungstheorie zuliebe angenommen; von dem polynesischen haben sich einige spärliche Reste in unser Zeitalter hinübergerettet: die Fidschi- und Marquesas-Inseln bestehen teilweise aus Granit und kristallinischen Schiefern, dürfen daher unbedenklich als Trümmer eines versunkenen Festlandes angesehen werden. Auf der westlich von Amerika gelegenen Landmasse suchte Huxley die Urheimat der plazentalen Säugetiere. Bekanntlich erscheinen diese zu Beginn der Tertiärzeit plötzlich in Nordamerika, ohne daß man eine Ahnung hat, woher sie gekommen sind. Sie müssen aber Vorfahren gehabt haben, die den Beuteltieren noch näher standen als selbst die primitivsten Huf- und Raubtiere der Puerco beds, und diese allerältesten Plazentalien sollen in der Kreidezeit auf einem pazifischen Kontinent gelebt haben, aus dem sie, als er ihnen zu klein wurde, nach Amerika wanderten.

Eine merkwürdige Beobachtung machte Darwin auf den Galapagos-Inseln, einer einsamen, vulkanischen Gruppe westlich von Ecuador. Die dortige Tierwelt umfaßt eine Anzahl Gattungen, die der ganzen Inselgruppe gemeinsam, aber auf jeder einzelnen Insel durch besondere, sonst nirgends in der Welt vorkommende Arten vertreten sind. Dies gilt besonders von den dort so ungemein zahlreichen Landschildkröten, von Landvögeln und Insekten, trifft aber auch für manche Pflanzen zu. Wie Darwin berichtet, erkennen die Eingeborenen mit Leichtigkeit, von welcher Insel eine gefangene Schildkröte stammt; Größe, Gestalt und Farbe der Schalen sowie der Geschmack des Fleisches sind verschieden. Mehrere Inseln besitzen ihre eigenen Arten von Spottdrosseln und Finken; die Euphorbia, eine kaktusartige Pflanze, kommt in acht Arten vor, von denen sieben den Galapagos-Inseln eigentümlich sind; keine dieser sieben Spezies wächst auf zwei von den Inseln. Das gleiche gilt von manchen Kompositen.

Wie hat man sich nun dies merkwürdige Verteilungsgesetz zu erklären? Offenbar bildeten die Galapagos ursprünglich eine zusammenhängende Landmasse mit einer vollkommenen einheitlichen Tier- und Pflanzenwelt, die aus den Stammformen der heutigen Schildkröten-, Finken-, Kompositenarten bestand; später zerfiel dann das Land in lauter kleine Inseln, auf denen die Entwicklung der einzelnen Gattungen ganz verschiedene Wege einschlug. Man ist erstaunt, sagt Darwin, über das Maß von schöpferischer Kraft, das sich auf diesen kleinen, kahlen und felsigen Eilanden entfaltet hat, und um so mehr über ihre verschiedenartige und doch analoge Wirkung auf so nahe beieinander gelegenen Orten. Spätere Untersuchungen haben die Beobachtungen Darwins in vollem Umfange bestätigt und sogar gezeigt, daß auch auf anderen Inselgruppen des Stillen Ozeans ähnliche Verhältnisse herrschen: überall eine weite Verbreitung der Familien und Gattungen, aber eine Beschränkung der Arten auf einzelne Inseln oder kleine Archipele.

So ermöglicht uns diese eigenartige Verteilung der Lebewesen den Schluß auf die ehemalige Existenz eines großen Kontinentes, der, von ganz geringfügigen Resten abgesehen, spurlos in den Wellen des Großen Ozeans verschwunden ist.

Den Bau der Korallenriffe haben wir auf S. 158 ff. ausführlich geschildert, es wurde dort auch erwähnt, daß diese Bildungen auf Meere beschränkt sind, in denen die Wassertemperatur selbst im kältesten Monat nicht unter 20° C sinkt, d. h. im großen und ganzen auf das zwischen den Wendekreisen befindliche Gebiet. Innerhalb dieses Gürtels sind die meisten Vulkaninseln von Korallenriffen umsäumt. Aber es finden sich im Großen und im Indischen Ozean auch zahlreiche Inseln, die allem Anschein nach ausschließlich aus Korallenkalk erbaut sind und doch ganz nach Art der Vulkaninseln mit steilen Böschungen aus Meerestiefen von 4—5000 m aufsteigen. Hierin liegt die eigentliche Schwierigkeit des Problems. Wir wissen, daß die Korallentiere nur wenige Dezimeter unter der Meeresfläche gedeihen und bereits in einer Tiefe von höchstens 50 m absterben, — wie konnten sie Bauten von solch ungeheurer Mächtigkeit aufführen? Selbst wenn wir annehmen, daß die Sockel der Koralleninseln aus vulkanischem Gestein bestehen, so reicht doch der Korallenkalk, wie neuerdings auf mehreren Inseln durch Tiefbohrungen festgestellt wurde, mehrere hundert Meter tief hinab; das Fundament, auf dem die Tiere sich ursprünglich ansiedelten, ist bislang noch nirgends erbohrt oder sonst beobachtet worden.

Wir haben oben gesehen, daß die polynesische Region des Großen Ozeans aller Wahrscheinlichkeit nach ein ausgedehntes Senkungsfeld ist. Die typische Form der dortigen Koralleninseln ist das Atoll, worunter man einen kranzartigen Wall von Korallenfels versteht, der nach außen meist sehr steil in die

Abb. 174. Ein Atoll.

Tiefsee abfällt, im Innern aber eine flache, nur 50—100 m tiefe Lagune umschließt (Abb. 174). Der Wall erhebt sich nur wenig, in vielen Fällen kaum 1 m über die höchste Flutmarke; selbstverständlich bestehen die immer über Wasser befindlichen Teile nicht aus lebenden Korallenstöcken, sondern aus Bruchstücken von „versteintem" Korallenfels, die die Brandung bei heftigen Stürmen vom unterseeischen Riff losreißt und, vermengt mit Sand und Muscheln, an der Grenze ihres Bereichs zu einem Strandwall auftürmt. Die Atolle sind selten völlig geschlossen; meist öffnen sich in ihnen mehrere Lücken, die bisweilen selbst großen Schiffen die Einfahrt erlauben. Aus manchen Lagunen ragen Klippen und kleine Inseln von Korallengestein empor.

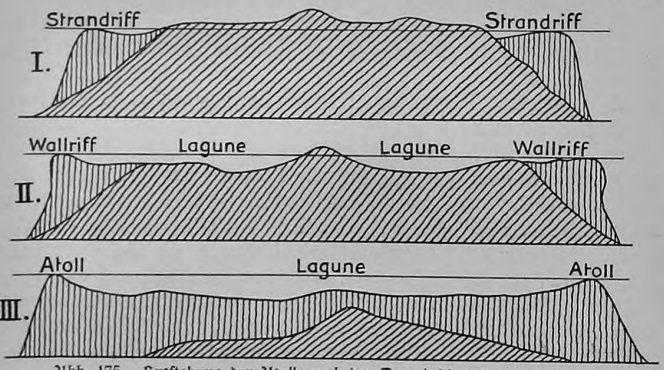


Abb. 175. Entstehung der Atolle nach der Darwinschen Senkungstheorie.

Die Frage, wie sich diese merkwürdigen Ringwälle mitten im tiefen Ozean bilden konnten, hat wiederum Darwin durch eine geistreich begründete Theorie zu lösen versucht. Nach ihm entspricht jedes Atoll einer versunkenen Insel, an deren Strand sich die Korallen ursprünglich ansiedelten und ein das Eiland umgürtendes Saumriff erbauten (Abb. 175, I). Die vulkanischen Karolinen zeigen uns dies Bild in der Gegenwart. Allmählich senkte sich der Meeresboden samt der Insel, und die Tiere waren, um nicht unterzugehen, gezwungen, höher hinauf und zugleich nach außen dem Meer entgegen zu bauen, so daß sich das Strandriff in ein Wall- oder Barriereriff verwandelte (Abb. 175, II). Beispiele solcher Wallriffe, die als mächtige Wellenbrecher die Küste vor Zerstörung schützen und zwischen sich und dem Lande einen Kanal mit ruhigem Fahrwasser offen lassen, sind in den südlichen Meeren sehr häufig. Das großartige Barrenriff begleitet die Nordostküste Australiens auf mehr als 1000 km Länge. Man nimmt auch hier an, daß sich der Kontinent gesenkt hat und die Strandzone unter Wasser getreten ist, wodurch der 30 km breite, als Schiffahrtsstraße benutzte Kanal zwischen Australien und dem Riff entstanden ist. Setzt sich nun die Senkung weiter fort, so taucht die Insel allmählich ganz unter, das Wallriff aber bleibt über Wasser, weil die Korallentiere ihre Bauten stets im selben Niveau halten, und bietet nunmehr den Anblick eines Atolls (Abbild. 175, III).

Die Darwinsche Senkungstheorie hat im Lauf der Zeit viel Widerspruch erfahren; bedeutende Forscher wie Murray, der jüngere Agassiz, Gerland, Semper u. a. haben zu zeigen versucht, daß in vielen Korallengebieten statt der vermuteten Senkung deutliche Anzeichen einer Hebung des Meeresbodens hervortreten. Die genannten Forscher verlegen den Beginn der Korallenriffbildung auf unterseeische Vulkangipfel oder sonstige Untiefen und Bänke, die durch Anhäufung von Sedimenten bis zur Korallenregion heraufgewachsen waren. Für die Riffe der Flachsee, z. B. die westindischen Bahama-Inseln, mag diese Erklärung in vielen Fällen das Richtige treffen, aber die in bedeutende Tiefen hinabreichenden Korallenbauten der Südsee finden allein durch die Senkungstheorie ihre naturgemäße Deutung. Allerdings braucht man dabei nicht gleich an einen ganzen versunkenen Kontinent zu denken, der Vorgang der Atollbildung könnte sich auch etwa folgendermaßen abgespielt haben.

Am Meeresgrunde entstanden zu irgendeiner Zeit infolge lebhafter vulkanischer Tätigkeit zahlreiche Lavaberge und Tuffkegel, die bis dicht unter die Meeresoberfläche emporwuchsen oder sie noch ein Stück überragten. Soweit die Abhänge dieser Vulkane innerhalb der Existenzzone der Korallen lagen (also von 0 bis etwa 50 m Tiefe), bedeckten sie sich mit den Bauten der Polypen; dabei mag die Wärme des vulkanischen Bodens das Wachstum und die Vermehrung der Tiere befördert haben. Später ereigneten sich, wie fast in allen vulkanischen Gebieten, bedeutende Senkungen des Untergrundes, vermutlich weil das noch flüssige Magma in tiefere Schichten der Erdrinde zurücksank oder sich beim Erkalten stark zusammenzog. Sofern sich dieses Nachgeben des Bodens allmählich, nicht in plötzlichen Katastrophen wie bei dem Krakatau-Einsturz, vollzog, fanden die Korallen Zeit, der Senkung entgegenzuarbeiten und das oberste Stockwerk ihres Gebäudes stets auf gleicher Höhe zu halten. Die Lagune der Atolle würde nach dieser Auffassung dem Gipfel des verschwundenen Vulkans, in manchen Fällen vielleicht der größtenteils zugeschütteten und ganz von Korallenrasen überwucherten Krateröffnung entsprechen.

Soweit tut die Senkungstheorie ihre Schuldigkeit; aber es ist nicht zu leugnen, daß mancherlei Ausnahmen vorkommen, die sie nicht ohne weiteres erklären kann. Dahin gehören vor allem die gehobenen Koralleninseln. Die Natur liebt es, das sonst befolgte Schema hier und da in auffälliger Weise zu durchbrechen, und so hat sie mitten zwischen die versunkenen Riffe, deren Dächer als Atolle gerade noch den Wogen entragen, andere Inseln eingestreut, die anscheinend in jüngster Zeit starke Hebungen erfahren haben. Ziemlich häufig beobachtet man auf den größeren Eilanden der Südsee festes Korallengestein in Höhe von 50—100, ja ausnahmsweise 300 m über dem Meeresspiegel. Es ist ausgeschlossen, daß etwa gewaltige Sturmfluten diese Massen von den Riffen losgerissen und aufs Land getragen hätten, denn sie bestehen durchweg aus fest im Boden wurzelndem Gestein. Vielmehr möchte man glauben, jene Inseln hätten sich gerade in entgegengesetzter Richtung bewegt als die große Mehrzahl ihrer Nachbarn, nämlich aufwärts. Solche dem allgemeinen Bewegungssinn widersprechende Schwankungen einzelner Schollen sind in vulkanischen Gebieten durchaus nichts Unerhörtes. Indessen könnte in diesem Fall die Hebung auch nur scheinbar sein.

Wenn sich ein Teil des Meeresbodens senkt, muß im ganzen Gebiet das Wasser fallen; folgen nun einzelne Inseln der Bewegung nicht schnell genug oder gar nicht, so werden sie dem Anschein nach höher aus dem Meere emporsteigen. Die vorausgesetzte Hebung wäre also in Wirklichkeit Stillstand oder auch nur verlangsamtes Niedersinken. Für diese Auffassung sprechen gewisse Beobachtungen, die man neuerdings auf verschiedenen Inseln des Stillen Ozeans gemacht hat. Es zeigen sich dort Spuren eines ehemaligen höheren Wasserstandes, sogenannte Strandlinien, 2—6 m über dem heutigen Flutniveau. Man schließt daraus auf ein allgemeines Fallen des Meeresspiegels in jenen Breiten. Übrigens wurden ähnliche „Strandverschiebungen" auch in vielen anderen Teilen der Welt beobachtet; wir kommen auf diese für manche Küstengegenden hochaktuelle Frage im Lauf des Kapitels zurück.

Daß sich am Grunde des Stillen Ozeans noch in geologisch sehr junger Zeit gewaltige Einbrüche ereignet haben, bezeugen jene grabenförmigen Einsenkungen des Meeresbodens, wahre Abgründe, die mit steilen Böschungen bis zu Tiefen von fast 10 km hinabreichen. Die Westhälfte des Ozeans besitzt nach unseren heutigen Kenntnissen drei solche Tiefseegräben; merkwürdigerweise liegen sie hier wie in anderen Weltmeeren durchweg in der Nähe der Festländer. Am bekanntesten ist die „Tuscarora-Tiefe", die etwa parallel zu den Kurilen und der japanischen Küste verläuft und

bis zu 8513 m steil abstürzt. Ein ähnlicher Abgrund, die „Penguin-Tiefe", öffnet sich im Tonga-Graben, unsern Neuseeland, wo das Senkblei den Grund erst nach 9427 m erreichte. Abb. 176 gibt, wiederum in starker Überhöhung (vgl. S. 187), ein Profil durch diese Gegend des Ozeans. Man sieht, wie der Boden auf dem Tonga-Plateau dem Meeresspiegel ziemlich nahe kommt, um dann plötzlich in die ungeheure Tiefe abzubrechen. Östlich davon beginnt, was auf dem Profil nicht mehr sichtbar ist, der flache, einförmige Ozeanboden. Der allertiefste bislang bekannte Punkt wurde vor einigen Jahren zwischen den Marianen und Karolinen aufgefunden; er liegt in einer rinnenförmigen Einsenkung, genannt „Neros-Graben", 9635 m unter der Meeresoberfläche. Die Namen der verschiedenen Tiefen rühren von den Expedi-

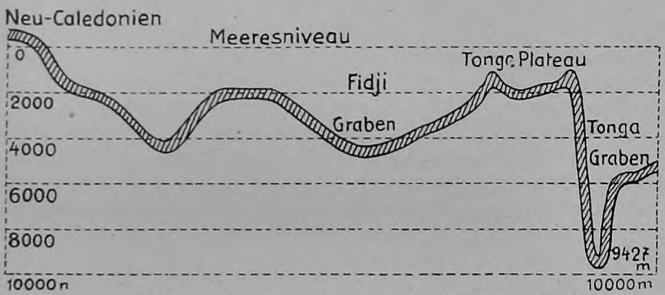


Abb. 176. Profil durch den Großen Ozean zwischen Neu-Kaledonien und dem Tonga-Graben.

tionsschiffen her, an deren Bord die Lotungen ausgeführt wurden.

Die Frage liegt nahe, ob diese Abgründe der Erdkruste sich noch in der Gegenwart erweitern und vertiefen. Wenn wir auch die exakte Entscheidung den Tiefseemessungen späterer Jahrhunderte überlassen müssen, so sei doch erwähnt, daß manche Forscher die Entstehung der Seebeben auf gewaltige Rutschungen und Abbrüche zurückführen, die von Zeit zu Zeit an den steilen Gehängen der Tiefseegräben erfolgen sollen. Für die Tuscaroratiefe ist dies mehr als bloße Vermutung, denn an ihrem steilen Weststrand liegt nachgewiesenermaßen der Ausgangspunkt jener furchtbaren Erdbeben, unter denen die japanische Inselwelt so häufig zu leiden hat. Die Ursache dieser Erschütterungen ist nach Ansicht des berühmten Erdbebenforschers Milne in der zunehmenden Belastung der unterseeischen Abhänge mit neugebildeten Sedimenten zu suchen. Die Sinkstoffe werden von den Flüssen ins Meer hinausgeschwemmt und setzen sich ziemlich nahe an der Küste ab. Dadurch entstehen sehr steile Böschungen, so daß zuletzt die unteren Schichten den Druck der auf ihnen lastenden Sedimente nicht mehr aushalten und in die Tiefe hinausrutschen. Die gewaltigen Erschütterungen pflanzen sich weit ins feste Land fort und verursachen auch die an der japanischen Küste oft so verheerend auftretenden Flutwellen. Nach Arrhenius läge die ausgiebigste Quelle der Erdbeben überhaupt in derartigen an den unterseeischen Steilhängen der Festländer niedergehenden Erdstürzen.

Wir haben die Abhänge der Tiefseegräben „steil" genannt. Das ist aber nicht so zu verstehen, als ob sie an Schroffheit den Wänden der Hochgebirgsgipfel gleichkämen, sie sind nur steil im Verhältnis zu den fast unmerklichen Böschungen des übrigen Meeresbodens. Stellen wir uns vor, wir wanderten über den trockengelegten Ozeangrund, der für unsere Sinne sich in nichts von einer vollkommenen Ebene unterschiede, und gelangten an den Rand einer Tiefsenkung, so würden wir keineswegs vor einem jähen Abgrund stehen, sondern nur über einen sanft abfallenden Hang blicken, der, scheinbar unbegrenzt fortsetzend, sich in der fernen Tiefe verlöre. Die Tiefseegräben tragen ihren Namen mit Unrecht, — denn unter einem Graben stellt man sich eine tiefe Rinne mit fast senkrechten Wandungen vor, — passender wären sie als langgestreckte, in den Ozeangrund eingelassene Mulden zu bezeichnen. Der westliche Abhang der Tuscaroratiefe ist 2—300 km breit und fällt auf diese Horizontalentfernung allmählich 8000 m tief ab. Das ergibt eine für festländische Verhältnisse ganz mäßige Böschung von 2—3 Grad, die einer Steigung von $2^1/_2$—4 Prozent entspricht. Bergstraßen und Eisenbahnen (Adhäsionsbahnen) überwinden häufig solche Böschungen. Zum Vergleich sei noch erwähnt, daß die stärkste Steigung der Pilatusbahn, also einer Zahnradbahn, 48 Prozent beträgt.

Mancherlei Geheimnisse birgt die dunkle Tiefe der Weltmeere, und eines der rätselvollsten ist der geologische Bau jener unzugänglichen Regionen. Langsam gelingt es der Tiefseeforschung, die Oberflächenformen des Meeresbodens und die Verbreitung der heute sich bil-

denden Sedimente zu ergründen, aber damit erfahren wir nichts über die Beschaffenheit des tieferen Untergrundes. Was für Gesteine *unter* dem Globigerinenschlamm, *unter* dem roten Tiefseeton liegen, ob uralte Faltungen sich unter diesen lockeren Massen verbergen, oder ob der felsige Ozeanboden nach Art eines Tafellandes, d. h. aus flach gelagerten Schichten, aufgebaut ist, — das sind Fragen, zu deren Beantwortung die technischen Hilfsmittel der Tiefseeforschung heute (und vielleicht für alle Zeiten) nicht ausreichen.

Große Brüche der Erdkruste, also enorme Verwerfungen der Schichten, wird man ja überall dort annehmen, wo bedeutende Landmassen versunken sind. Aber es gibt, wie wir sahen (S. 181), auch weite Räume, die seit kambrischer Zeit ununterbrochen vom Meer bedeckt gewesen sind, und hier dürfte die Schichtenlagerung mindestens ebenso ungestört sein wie z. B. im russischen Flachland, wo selbst die kambrischen Ablagerungen noch annähernd horizontal liegen.

Einzig die Ergebnisse der auf offenem Meer selbst vorgenommenen *Schweremessungen* werfen ein gewisses Licht auf den physikalischen Zustand des tieferen Ozeangrundes. Man hat nämlich gefunden, daß mitten im Atlantischen Ozean die Erdschwere annähernd dieselben Werte zeigt wie (unter gleicher Breite) auf den Festländern. Das war von vornherein keineswegs zu erwarten, denn die geringe Dichte der mehrere Kilometer tiefen ozeanischen Gewässer müßte eigentlich den Betrag der Schwere herabmindern. Wenn sich nun trotzdem die gleichen Werte wie auf den Festländern ergaben, so kann dies nur daran liegen, daß *die Erdkruste unter den Ozeanen dichter ist als unter den Kontinenten*. Die geringe Dichte des Wassers wird kompensiert durch größere Dichte der unterirdischen Gesteine.

Als solche *spezifisch schweren* Felsarten kommen hauptsächlich die *dunklen, basischen Tiefengesteine* (Gabbro, Serpentin, Diabas usw.) in Betracht, deren Hauptverbreitungsgebiet demnach *unter* den Meeresbecken läge. Es ist interessant, daß gewisse Beobachtungen in den Faltengebirgen, z. B. den Alpen, diese Annahme bestätigen. Wir werden später sehen, daß die Mehrzahl der alpinen Schichtgesteine in flachen oder mäßig tiefen Meeren zum Ansatz gelangt ist. Wo sich aber unzweifelhafte Tiefseesedimente, z. B. Radiolariengesteine finden, sind sie nach *Steinmann* immer mit dunklen Tiefengesteinen vergesellschaftet. Auch in einer Reihe anderer Faltengebirge, z. B. in den dinarischen Ketten von Bosnien bis Kleinasien und der kalifornischen Küstenkordillere, zeigt sich die gleiche „Symbiose“*) basischer Eruptivgesteine und radiolarienreicher Tiefseeabsätze.

Man muß sich also wohl vorstellen, daß sich unter den großen Meerestiefen basische Schmelzflüsse ansammeln und eine *Verdichtung* der Erdkruste bewirken. Die Kontinente dagegen sind weniger dicht, weil in ihnen die sauren, spezifisch leichteren Eruptivgesteine herrschen, vorab der Granit. Nur stellenweise sind die dunklen Schmelzflüsse auch in die Festländer eingedrungen. So kommen wir — die Richtigkeit der Theorie vorausgesetzt — zu dem merkwürdigen Ergebnis, daß *das Baumaterial der tiefen Meeresbecken ein anderes ist als das der Kontinente*.

Wenden wir uns nun den *höheren Stockwerken* der Erdrinde, den *Festländern und Gebirgen*, zu, so wissen wir da zwar besser Bescheid als auf dem unzugänglichen Meeresgrunde, aber mit der vermehrten Kenntnis ist auch die Zahl der noch ungelösten Aufgaben gestiegen, und gerade einige der allerwichtigsten Probleme bergen sich trotz mannigfaltiger Lösungsversuche noch immer hinter dunklen Wolken. Schon das bloße Vorhandensein jener höheren Stockwerke ist eins der sonderbarsten Rätsel, die es auf Erden gibt. Allerdings hat sich der Mensch so vollständig an den Gedanken der Festländer gewöhnt, daß ihm deren Existenz als eine absolute Notwendigkeit erscheint, die keiner weiteren Erklärung bedarf. In der Tat wäre an den Kontinenten nichts Wunderbares, wenn sie mit unmerklicher Neigung aus den Ozeanen aufstiegen, also gleichsam Teile des Meeresbodens wären, die zufällig trocken lägen. Die gesamte Erdoberfläche wäre dann eine einheitliche, schwach gewellte Kugelschale, in deren Vertiefungen sich das Wasser angesammelt hätte. Wir wissen, daß dies Bild nicht der Wirklichkeit entspricht. *Die Festländer sind ganz anderer Natur als die Meeresbecken*; man kann sie als *riesenhafte Felsklötze* betrachten, die dem flachen Ozeanboden aufgesetzt sind. Oben sind diese Felsklötze ziemlich eben (abgesehen von den Gebirgen, die wieder etwas Besonderes vorstellen), an den Seiten fallen sie 2—3000 m steil ab in die Tiefsee. Hierbei darf man nicht vergessen, daß der Boden der Flachsee bis 200 m

*) Symbiose, ein in der Tierkunde gebräuchlicher Ausdruck für das gewohnheitsmäßige „Zusammenleben“ ganz verschiedener Tiere, z. B. Einsiedlerkrebs und Seerose.

Tiefe zum Festland gehört, erst dahinter beginnt der steile Abhang, die „Kontinentalböschung“ (vgl. S. 178). Das Meer steht also gewissermaßen zu hoch und überschwemmt den Rand der Kontinentalplateaus, was die ganze Sache noch verwickelter macht, als sie ohnedies schon ist.

Zeiten großartiger Überflutungen (in der Fachsprache „Transgressionen“ genannt) haben im Lauf der Erdgeschichte mehrfach abgewechselt mit „kontinentalen“ Perioden, in denen die Festländer sehr bedeutende Ausdehnung besaßen. Im Obersilur, Mitteldevon, in der jüngeren Jura- und Kreidezeit eroberte das Meer weite Gebiete, die seit Jahrmillionen trocken gelegen hatten, während es in den Zwischenzeiten mehrmals stark zurückgedrängt wurde. Besonders umfangreich waren die Festländer im Unterdevon, in der älteren Trias (Zeit der Buntsandsteinwüsten!) und um die Wende der Kreide- und Tertiärzeit.

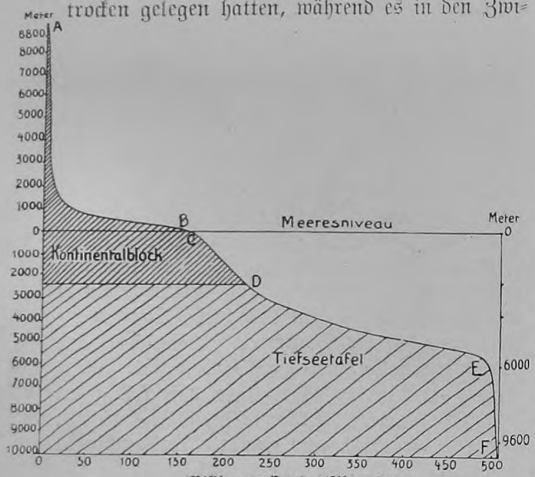


Abb. 177. Hypsographische Kurve der Erdrinde. AB Festland, CD Kontinentalböschung, DE Tiefseetafel, EF Tiefseegraben.

Da nun in der Gegenwart bedeutende Teile der Kontinente vom Meere bedeckt sind, so ist unser Zeitalter offenbar durch eine weit vorgeschrittene Transgression charakterisiert. Es läßt sich nachweisen, daß die Festländer seit dem Pliozän dauernd an Flächeninhalt verloren haben (nach Arldt rund 30 Millionen Quadratkilometer, das ist $^1/_5$—$^1/_6$ des gesamten früheren Kontinentalgebietes). So ungenau auch derartige Berechnungen sein mögen, steht doch fest, daß die gegenwärtige Überflutung an Umfang und Bedeutung kaum hinter den großen Jura- und Kreidetransgressionen zurücksteht. Ob sie heutzutage ihren Höhepunkt schon erreicht hat, können wir nicht wissen, und die Möglichkeit ist zuzugeben, daß noch einzelne den Meeresspiegel überragende Tiefländer, wie z. B. die Norddeutsche Ebene, eine Beute der vordringenden Fluten werden. Das wären allerdings trübe Aussichten für die Zukunft der menschlichen Kultur, sollten auch viele Jahrtausende vergehen, bis sie sich verwirklichen.

Unberührt von den Transgressionen bleiben die höher gelegenen, meist aus Granit und kristallinischen Schiefern bestehenden Kerne der Kontinente, an deren festem Bollwerk die anstürmenden Fluten machtlos zerschellen. Der Siegeszug des Meeres kommt zum Stillstand und geht nach längerer oder kürzerer Zeit in einen Rückzug über. Schritt für Schritt wird das eroberte Tiefland wieder freigegeben. Als weithin geebnete Fläche, bedeckt mit fruchtbaren Schlammschichten, steigt es gleichsam verjüngt aus dem Schoß der Salzflut empor und wird alsbald von den landbewohnenden Geschöpfen in Besitz genommen.

Die Böschungsverhältnisse der Erdoberfläche lassen sich auf einer Weltkarte nur schwierig überblicken. Die Geographen haben zur leichteren Orientierung einen schematischen Durchschnitt durch die Erdrinde konstruiert (Abb. 177), der von den höchsten Bergspitzen bis zum tiefsten Punkt des Meeres reicht und den dreistöckigen Aufbau des Ganzen klar hervortreten läßt. Man erkennt deutlich den schwach geneigten Boden der Tiefsee mit dem tief eingeschnittenen „Graben“, die steile Kontinentalböschung, das schmale Gesims der Flachsee, die breite Niederung der Festländer und die zu gewaltigen Höhen aufstrebenden Gebirgskämme. Das Profil liefert zugleich ein wahrheitsgetreues Bild von dem Massenverhältnis der Festländer und Ozeane; wie man sieht, überwiegt die Wassermasse ganz bedeutend. Denkt man sich die gesamten Kontinente abgetragen und gleichmäßig auf dem Meeresboden ausgebreitet, so würde das rings um die Erdkugel flutende Meer noch eine Tiefe von 2600 m besitzen!

Das Seltsame an den Festländern ist ihr unvermitteltes Aufsteigen aus der Tiefsee. Haben plutonische Kräfte diese ungeheuren Felsmassen aus dem Erdinnern hervorgepreßt, oder sind die Kontinente stehengebliebene Schollen einer uralten Landoberfläche, deren übriges Gebiet in die Tiefe gesunken und nunmehr vom Meere bedeckt ist? Die Wissenschaft von heute ist außerstande, den Streit zwischen der Erhebungs- und Einsturztheorie, der in

obigen Fragen ausgedrückt ist, zu entscheiden. Die Einsturztheorie hat ihren genialsten Befürworter in dem Wiener Geologen Eduard Sueß gefunden. Die Mittelmeere wie die größten Ozeane, lehrt er, entstehen und erweitern sich durch Senkung und Einbruch. Dieser Zusammenbruch der Erdrinde hat seine Ursache in der unablässig fortschreitenden Schrumpfung des Erdinnern. Nur wenn die Spannungen im äußeren Felsgerüst der Erde sich vollkommen das Gleichgewicht hielten, würde die Rinde als freies Gewölbe unabhängig von allen Vorgängen der Tiefe stehenbleiben und eine ziemlich regelmäßige Kugelschale bilden, allenthalben bedeckt von einer ununterbrochenen Wasserhülle. Aber die Erdrinde besitzt diese Fähigkeit nicht; Brüche und Faltungen haben sie überall zerrissen und zerstückelt. Auf dem festen Lande sind die Spuren alter Brüche oft vollständig verdeckt, die aufragenden Schollen sind abgetragen, und neugebildete Ablagerungen haben sich heilend über die alten Wunden des Erdkörpers gebreitet. Hier hat die Zeit alles geebnet. Anders verhält es sich mit den riesigen Senkungsfeldern, in deren Schoß sich die Wasser zu tiefen Weltmeeren ansammelten. Diesen gewaltigen Einbrüchen ist die Scheidung von Land und Wasser zu verdanken; durch sie erst sind Kontinente entstanden und Wesen möglich geworden, die durch Lungen atmen.

Daß mächtige Festländer in Trümmer zerfallen und untergehen, darf, wie wir gesehen haben, als Tatsache gelten. Wenn aber Sueß die markanten Züge im Antlitz der Erde durchweg auf Senkungen und Einbrüche zurückführt, so können wir ihm darin nicht folgen. Manche Länder, z. B. Skandinavien und Teile von Kanada, sind heutzutage in aufsteigender Bewegung, und gewichtige Umstände sprechen dafür, daß auch in der Vorzeit ausgedehnte Landgebiete stark gehoben worden sind. Prüft man die einzelnen Fälle näher, so ergibt sich eine überraschende Wechselbeziehung der Hebungen und Senkungen in einander benachbarten Gebieten; steigt das eine Gebiet aus dem Meer empor, so sinkt das andere in die Tiefe und umgekehrt, es findet also eine Art Schaukelbewegung statt. Große Schollen der Erdrinde schwingen, möchte man sagen, in bestimmtem Rhythmus auf und ab, wobei bald diese, bald jene die Oberlage gewinnt. Dieser auf den ersten Blick ganz rätselhafte Zusammenhang erklärt sich wohl durch das Bestreben der Erdkruste, jederzeit eine Gleichgewichtslage anzunehmen. Erfolgen irgendwo z. B. große Einbrüche, so wird das Gleichgewicht gestört, und, um es wiederherzustellen, müssen andere Teile der Rinde gehoben werden; umgekehrt haben Aufwölbungen der Erdoberfläche in anderen Gebieten Senkungen zur Folge. Die Frage nach den bewegenden Kräften lassen wir vorerst unerörtert, sie hängt aufs engste mit dem Problem der Gebirgsfaltung zusammen, das wir erst später behandeln können.

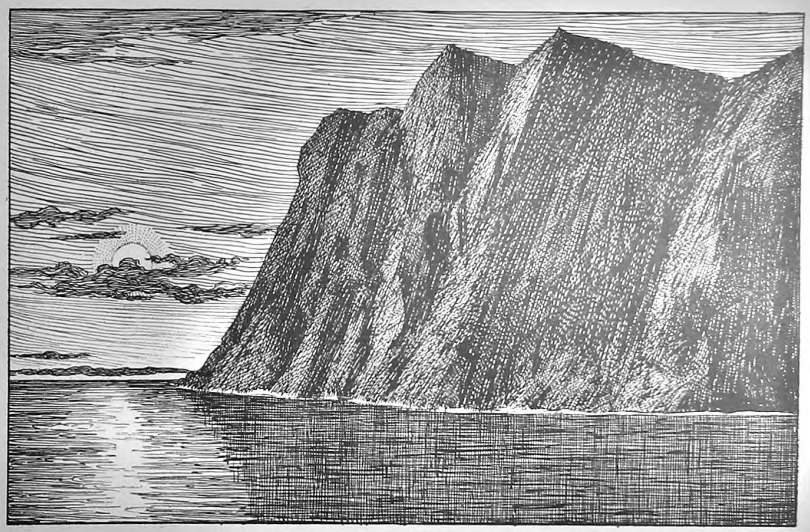


Abb. 178. Das Nordkap. Beispiel eines kontinentalen Steilabfalls.

Abb. 179. Mutmaßliche Ausdehnung und Lage der spätpaläozoischen Festländer und Weltmeere.
(Man beachte, daß auf der Mercatorprojektion die dem Pol benachbarten Landmassen, hier Ostasiatischer Kontinent und Atlantis, viel größer erscheinen, als dem richtigen Verhältnis entspricht.

Eine Schaukelbewegung allergrößten Maßstabes hat im Lauf der Erdgeschichte das Schwergewicht des festen Landes von der südlichen auf die nördliche Halbkugel verlegt. Als natürliche Grenze der beiden Erdhälften denken wir uns dabei nicht den Äquator, sondern den großen Mittelmeergürtel (die Tethys), der den Äquator unter spitzem Winkel schneidet. Dann zeigt sich (vgl. die beigegebene Karte der spätpaläozoischen Kontinente, Abb. 179), daß im Altertum der Erde die Hauptmasse des festen Landes südlich von der Tethys lag: Jahrmillionen hindurch streckte ein Riesenkontinent seine breiten Glieder vom heutigen Südamerika über Afrika hinaus bis nach Australien. Zeitweise müssen auch die uralten Landmassen im Stillen Ozean mit ihm verbunden gewesen sein.

Der große Südkontinent umfaßte für sich allein so viel Land wie alle heutigen Festländer zusammengenommen. Er zerfiel während der Trias in die Südatlantis, etwa vom Umfang der heutigen Alten Welt (vgl. die Karte der Erde zur Jurazeit auf S. 31, wo die Südatlantis als „Brasilianisch-äthiopischer Kontinent" bezeichnet ist), und in ein kleineres, australisch-indisches Festland. Wie weit er ursprünglich nach Süden reichte, ob etwa zeitweise bis zum Pol, ist nicht bekannt; manche Geologen nehmen jenseits des 40. Breitengrades ein großes südliches Eismeer an. Abgesehen von diesem noch zweifelhaften antarktischen Ozean dürfte es im Süden während langer Abschnitte der paläozoischen Zeit keine „Weltmeere" im eigentlichen Sinne gegeben haben. Im vollkommenen Gegensatz dazu war die nördliche Halbkugel von einem großen zusammenhängenden Ozean bedeckt, worin inselartig zwei Kontinente schwammen, ein nordatlantischer und ostasiatischer. Am Maßstab heutiger Verhältnisse gemessen, waren sie durchaus nicht klein, zusammen aber nicht halb so ausgedehnt wie der riesenhafte Südkontinent.

Seit Beginn des geologischen Mittelalters bis zur Gegenwart hat sich dann allmählich die große Umwälzung vollzogen. Der Südkontinent wurde mehr und mehr zerstückelt, und sein ehemaliges Gebiet vom Meere überflutet; sein stattlichster Rest, der noch ein wenig an die verschwundene Pracht erinnert, Afrika, ist noch heute als zusammenhängendes Festland erhalten, während die übrigen Trümmer (Teile von Brasilien und Australien, Ostindien, Madagaskar) weit voneinander getrennt und wenig ansehnlich sind. Dafür tauchten auf der nördlichen Halbkugel neue, umfangreiche Landmassen aus dem Meere auf und schlossen sich zu einem breiten Gürtel um den Nordpol zusammen.

In der Gegenwart sind Europa, Asien, Afrika und Amerika, streng genommen, nur Teile eines einzigen, großen Kontinentes, den die flache Beringstraße scheinbar in zwei Hälften, Alte und Neue Welt, zerlegt. Wir sagen „scheinbar", denn die Beringstraße bildet mit ihrer nur 60 m tiefen Flachsee wohl eine Schranke für den Landverkehr, aber keine Lücke im Block der Festländer. Allein das kleine Australien ist von dem riesigen „Kontinentalblock" durch eine wirkliche Tiefseerinne geschieden; die eigentümlich primitive Säugetierwelt Australiens mit ihren Beutlern und Schnabeltieren macht es wahrscheinlich, daß die Trennung schon im Mittelalter der Erdgeschichte erfolgte, als die Entwicklung der Säuger erst bis zu jenen niedrig stehenden Formen vorgeschritten war.

Überblickt man auf der Weltkarte die Gesamtheit der heutigen Festländer, so tritt längs ihrer Südgrenze ein eigentümlicher Zug hervor, der schon den Schulkindern aufzufallen pflegt. Alle südwärts vorgeschobenen Teile des Kontinentalblockes, ebenso auch das kleine Australien laufen in dreieckig zugespitzte Lappen aus. Die Übereinstimmung, mit der Amerika, Afrika, Arabien, Vorder- und Hinterindien, Australien samt Tasmanien sich gegen Süden keilförmig verschmälern, hat von jeher die Verwunderung der Geographen erregt und manchen seltsamen Erklärungsversuch gezeitigt. Offenbar handelt es sich hier um eine im Gefüge der Erdkruste begründete Gesetzmäßigkeit; aber um sie zu begreifen, müßte man den inneren Bau der Festländer bis zu ihren Wurzeln hinab kennen, d. h. bis zu Tiefen, die mehrere Kilometer unter dem Meeresspiegel liegen. Es würde sich dann fragen, ob etwa große, gegen den Südpol konvergierende Spalten die keilförmigen Umrisse jener Küsten bedingen. Längs solcher Spalten könnten die Meeresbecken eingebrochen oder die Festländer emporgestiegen sein. Aber auch wenn man dies mit Bestimmtheit nachwiese, bliebe unerklärt, warum die Bruchlinien in so auffälliger Weise gegen den Südpol zusammenlaufen, und warum sie nicht auch auf der nördlichen Halbkugel vorkommen, wo sie logischerweise gegen den Nordpol gerichtet sein müßten. Das Beispiel mag zeigen, wie weit wir noch entfernt sind, auch nur die gröbsten Züge im Antlitz unseres Planeten zu begreifen und ihren geheimnisvollen Ursprung zu enträtseln.

Von geringem Nutzen für unsere Erkenntnis

sind auch jene seit Elie de Beaumont immer wieder auftauchenden Versuche geblieben, die den Verlauf der Gebirgsketten und Meeresküsten, der tektonischen Störungslinien, Vulkanreihen usw. auf geometrische Figuren zurückführen wollen. Der genannte französische Geograph glaubte die Hauptgebiete der Erde mit den Kanten eines der Erdkugel einbeschriebenen Dodekaeders (Zwölfflächners) identifizieren zu können. Nur die gewaltsamste Behandlung der im Relief unseres Planeten gegebenen Tatsachen konnte dieser Theorie zeitweilig eine gewisse Geltung verschaffen. Auf einem ähnlichen Grundgedanken beruht die noch in den letzten Jahren eifrig verteidigte Lehre von der allmählichen Umbildung der Erdkugel (genauer: des kugelähnlichen Erdellipsoides) in einen Vierflächner. Vorausgesetzt wird hier wieder das — durch nichts bewiesene — Schwinden des glutflüssigen Erdinnern infolge fortschreitender Abkühlung. Die starre Erdrinde vermag sich der Schrumpfung nicht genügend anzuschmiegen, nimmt vielmehr allmählich Tetraedergestalt an. Die vier Ecken dieses geometrischen Körpers sucht man in den uralten, aus Gneis und Granit bestehenden Massiven, die im östlichen Kanada, in Skandinavien, Ostasien und am Südpol zutage treten; die Lage der Weltmeere entspräche den allmählich einsinkenden Flächen des Tetraeders.

Als notwendige Folgerung würde sich aus dieser Lehre die Beständigkeit der großen Ozeanbecken ergeben. Davon kann aber, wie die geologische Geschichte der Länder und Meere zeigt, nicht wohl die Rede sein. Sicher ist, daß noch im mesozoischen Weltalter die tiefsten Einsenkungen der Erdkruste in ganz anderen Weltgegenden lagen als heutzutage, ja daß sie vielfach den Platz der gegenwärtigen Kettengebirge, also der höchsten Erhebungen, einnahmen. Die großartige, seit dem Altertum der Erdgeschichte vollzogene Umlagerung der Festländer von der südlichen auf die nördliche Halbkugel spricht ebenfalls sehr deutlich gegen die Richtigkeit jener Theorie, die das Kontinentalproblem auf geometrischem Wege zu lösen sucht.

Zweites Kapitel. Strandverschiebungen der Gegenwart.

Langsame Hebungen und Senkungen des Bodens finden vielleicht in zahlreicheren Gegenden statt, als wir heute wissen, entgehen aber im Binnenlande gänzlich der Beobachtung, weil dort ein fester, ruhender Vergleichshorizont fehlt, an dem sich Maß und Richtung der Bewegung abschätzen ließen. Hin und wieder taucht in den Zeitungen die Nachricht auf, daß sich im Lauf der letzten Jahrzehnte die Aussicht von einem hochgelegenen Punkte verändert hätte; so soll beispielsweise irgendein Kirchturm oder Schloß, von dem früher nur die Spitze oder das Dach über den Berg geguckt hätte, allmählich ganz und gar sichtbar geworden sein. Erst kürzlich wurden derartige Wahrnehmungen aus einer bestimmten Gegend Frankens berichtet; irgendwelche Täuschung, etwa bewirkt durch Abholzung der dazwischenliegenden Berge, sollte ganz ausgeschlossen sein.

Auch in der Schweiz will man an mehreren Orten Veränderungen der Aussicht beobachtet haben, aber man weiß eben niemals: Hat sich der Beobachtungsort oder der erblickte Berg usw. gehoben, oder haben sich die dazwischenliegenden Bergketten gesenkt? Darüber können nur genaue, öfters wiederholte Niveaumessungen Auskunft geben. Nun leiden die älteren topographischen Aufnahmen und Messungen wegen der damals noch unvollkommenen Instrumente an manchen Beobachtungsfehlern und lassen sich aus diesem Grunde mit den modernen, viel genaueren Messungen nicht wohl vergleichen. Die Klärung der Frage, ob im Gebirge Niveauveränderungen vorkommen, muß also der Zukunft überlassen bleiben; aber man darf wohl voraussagen, daß sie in zwei bis drei Jahrzehnten in bejahendem Sinne entschieden sein wird.

Viel günstiger liegen natürlich die Verhältnisse an den Meeresküsten, wo sich jede, auch nur wenige Zentimeter betragende Niveauveränderung sofort durch ein scheinbares Fallen oder Steigen des Meeres bemerkbar machen wird. Je nachdem dabei das Land oder die See den Gewinn davonträgt, spricht man von kontinentaler, bzw. mariner Strandverschiebung.

Wenn sich der Mensch in der Nähe des Meeres ansiedelt, wenn er Hafenbauten, Deiche und Befestigungen anlegt, so setzt er dabei vertrauensvoll voraus, daß die Grenze zwischen Land und Meer etwas unverrückbar Gegebenes, für alle Zeiten Festliegendes sei. In den meisten Fällen ist ja diese Zuversicht begründet, wenigstens solange man nur die paar Jahrtausende

menschlicher Geschichte in Betracht zieht, aber es gibt auch ausgedehnte Küstenstriche, deren Bevölkerung in historischer Zeit mehr als einmal bedeutende Schwankungen der Strandlinie erlebt hat. Nur selten berichten schriftliche Aufzeichnungen von diesen oft weit zurückliegenden Vorgängen, häufiger bewahrt die mündliche Tradition eine dunkle Erinnerung an alte Katastrophen.

Vieles ist hier allerdings vollkommen sagenhaft, wie z. B. die Überlieferung der alten Griechen, daß früher das Mittelländische Meer an allen Küsten viel höher gestanden habe, weil die Enge bei den Säulen des Herkules, also die heutige Straße von Gibraltar, verschlossen war. Als in späterer Zeit die Landbrücke durchbrach, sei das aufgestaute Wasser in den Atlantischen Ozean abgeflossen und das Mittelmeer auf seinen gegenwärtigen Stand gesunken. Ob in Wirklichkeit das Mittelmeer jemals vollständig geschlossen war, steht nicht fest, ist sogar aus tiergeographischen Gründen ziemlich unwahrscheinlich; jedenfalls aber erfolgte der Durchbruch der Meerenge von Gibraltar zu einer Zeit, als die Gattung Mensch noch gar nicht existierte, daher kann auch keine Überlieferung dieser uralten Katastrophe sich fortgeerbt haben.

In der Phantasie der Küstenbewohner haben von jeher versunkene Städte eine große Rolle gespielt. Die zahlreichen Sagen und Märchen dieser Art fassen die plötzliche Katastrophe meist als Strafe Gottes für irgendeinen frevelhaften Übermut der Bewohner auf. So soll an der pommerschen Küste die blühende Handelsstadt Vineta untergegangen sein, weil die Bevölkerung durch übermäßigen Reichtum in Üppigkeit und Laster verfallen war. Die Stadttore, wird erzählt, waren aus Erz und Glockengut, die Glocken aber aus Silber; dieses Metall war so gemein in der Stadt, daß man es zu den gewöhnlichsten Dingen gebrauchte und die Kinder auf den Straßen mit harten Talern spielten. Die Kaufleute wohnten in Palästen vom herrlichsten Marmor und fuhren in goldenen Wagen spazieren. An Edelmetallen, Perlen, kostbaren Steinen, teuren Stoffen und Prunkgewändern war solcher Überfluß in der Stadt, daß man ihn kaum noch unterzubringen wußte. Alle Religionen hatten ihre prächtigen Tempel in der Stadt, nur das Christentum durfte nicht öffentlich bekannt werden. Teils wegen dieser Abgötterei, teils wegen freventlicher Sitten traf der Zorn Gottes die üppige Stadt; binnen drei Tagen — vom Karfreitag bis zum Ostermorgen — ward sie mit allen ihren Reichtümern vom Meer verschlungen.

Ähnliches wird von der ehemals reichen holländischen Handelsstadt Stavoren erzählt. Der übermäßige Reichtum hatte ihre Bewohner ruchlos gemacht, und als eine vornehme Kaufmannsfrau in schmählicher Mißachtung der besten Gottesgabe eine Schiffsladung Weizen in die Nordsee schütten ließ, war das Maß ihrer Übeltaten erfüllt. Der Boden, auf dem die Stadt erbaut war, begann sich zu senken, Heringe und andere Fische zeigten sich in den Ziehbrunnen. Plötzlich öffnete sich eines Nachts die See und verschlang mehr als drei Viertel der Stadt in rauschender Flut. Noch immer versinken jährlich einige Hütten der Insassen, und es ist seit der Zeit kein Segen und kein wohlhabender Mann in Stavoren zu finden.

Wenn auch das meiste an dergleichen Sagen Ausschmückung ist, pflegt doch irgendein tatsächlicher Kern in ihnen zu stecken. Der Verfall des im Mittelalter sehr mächtigen und reichen Stavoren ist historisch, doch hat nicht das Meer die Stadt verschlungen, sondern ein Vorgang entgegengesetzter Art, die unaufhaltsame Versandung des Hafens hat ihr Handel und Wohlfahrt geraubt. Heute ist Stavoren eine unbedeutende Kleinstadt am Zuidersee. Gänzlich verschwunden ist Vineta, auch Jumneta genannt; schon vor Jahrhunderten haben gelehrte Männer darüber gestritten, ob es überhaupt jemals existiert hat. Die Sage scheint dadurch entstanden zu sein, daß bei niedrigem Wasserstand an der Küste von Usedom bedeutende Anhäufungen großer Steinblöcke und Platten sichtbar werden, in denen die einheimische Bevölkerung seit alters die Trümmer der versunkenen Hafenstadt erblickt. Diese Anhäufungen bilden ein regelrechtes Riff, das Vinetariff der deutschen Generalstabskarte, an dem im Lauf der Jahrhunderte zahlreiche Schiffe zugrunde gegangen sind. Zuletzt strandete dort am 24. Juli 1891 der Passagierdampfer „Cuxhaven", von dessen Besatzung drei Personen ums Leben kamen.

Wie ist nun das Vinetariff entstanden? Im 16. Jahrhundert haben zwei Forscher, Thomas Kantzow und Johannes Lubbechius, unabhängig voneinander den Boden der Untiefe mit langen Stangen ausgelotet und die Lage der Steinblöcke planmäßig aufgenommen. Sie kamen zu dem gewiß überraschenden Ergebnis, daß tatsächlich eine regelmäßige Gruppierung der Blöcke vorhanden ist: die großen bilden je zu vier und drei ein Rechteck, während die

kleinen als Umrahmung diese Rechtecke umgeben. Kantzow entwarf sogar auf Grund seiner Aufnahme einen Stadtplan des untergegangenen Vineta und glaubte sich zu der Feststellung berechtigt, „daß die Stadt in die Länge ist gebawet geweſt und hat sich mit der Länge erstrecket von Osten nach Westen". — Die Steinsetzungen waren den Fischern jener Zeit allgemein bekannt und galten für die Grundmauern versunkener Paläste.

Leider ist eine Nachprüfung dieser alten Untersuchungen heutzutage nicht mehr möglich, denn bei den großen Swinemünder Molenbauten des 18. Jahrhunderts hat man das Riff wie einen Steinbruch ausgebeutet und verwüstet, so daß es nunmehr einem wirren Trümmerhaufen gleicht. Indessen besteht kein Grund, den Zeugnissen jener alten Forscher zu mißtrauen. Irgendeinen Zweck muß die regelmäßige Anordnung der Steinblöcke doch wohl gehabt haben. Der bekannte Geologe W. Deecke hat als erster die Ansicht ausgesprochen, daß es sich hier um einen vorgeschichtlichen Friedhof handle, um eine großartige Anlage jener merkwürdigen Grabdenkmäler, die als Dolmen oder Tischsteine, auch wohl als Druiden- oder Riesensteine bekannt sind. Trifft diese Vermutung das Richtige, so hätte auf Usedom wirklich eine Strandverschiebung zugunsten des Meeres stattgefunden; denn daß unsere altgermanischen Vorfahren ihre Grabstätten im Wasser errichtet hätten, wird man schwerlich annehmen.

Indessen pflichten keineswegs alle Geologen der Deeckeschen Auffassung bei. Die meisten Kenner jenes Gebietes halten das Vinetariff für eine Art Moräne der skandinavischen Eisströme, die bekanntlich in der Eiszeit die Ostsee überschritten und ungezählte Mengen großer und kleiner Felsblöcke auf ihrem Rücken mitschleppten. Überall wo der Eisrand längere Zeit stillstand, mußten sich am Fuß der viele Meter hohen Eismauer mächtige Block- und Geröllmassen anhäufen, wie man dies, nur in viel kleinerem Maßstab, in den vergletscherten Alpentälern noch heute beobachtet. Die angeblichen Ruinen von Vineta wären nach dieser Auffassung ein reines Naturprodukt und zu einer Zeit entstanden, als das nordische Inlandeis mit seiner Front dicht vor der heutigen pommerschen Küste stand.

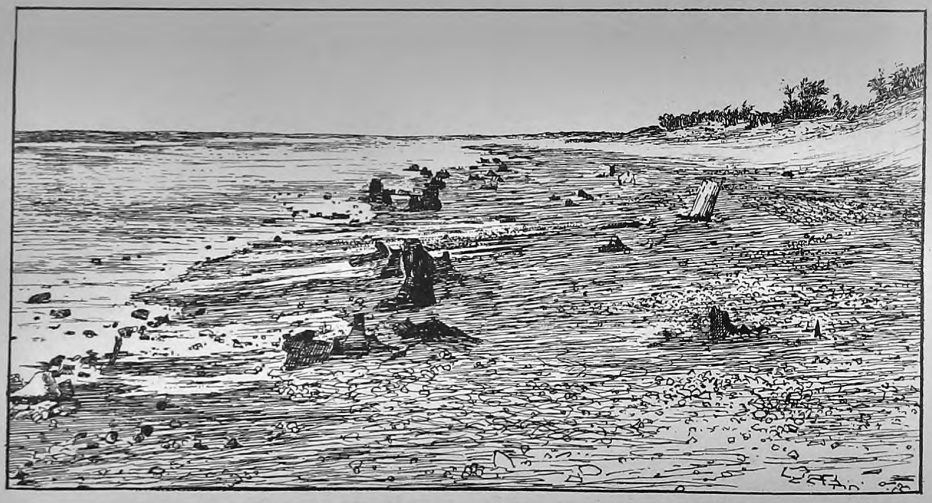


Abb. 180. Reste eines versunkenen Waldes an der deutschen Ostseeküste.

Wie dem auch sei, Spuren einer versunkenen Stadt finden sich nirgends an der pommerschen Küste. In anderen Gegenden aber hat man tatsächlich Trümmer menschlicher Bauwerke, Grundmauern, Mosaikfußböden, Straßenpflaster usw. unterhalb des gegenwärtigen Meeresspiegels entdeckt, vor allem am Mittelmeer, dessen Küsten ja schon im Altertum reich besiedelt und bebaut waren. Mit dem interessantesten Vorkommnis, dem Serapistempel bei dem kampanischen Städtchen Pozzuoli, der nach jahrhundertelanger Versenkung wieder aus dem Meer aufgetaucht ist, werden wir uns weiter unten noch eingehend beschäftigen. Ein anderes unwiderlegbares Zeugnis mariner Strandver-

schiebung ist das Vorkommen von Torfmooren und Wäldern unterhalb des Wasserspiegels. Namentlich am Strande der deutschen Ostsee hat man mehrfach bei niedrigem Wasserstand die Reste versunkener Wälder wahrgenommen; Abb. 180 führt uns ein Beispiel vor Augen.

An den Gestaden der Normandie und Bretagne zeigt sich die gleiche Erscheinung; hier kennt man auch unzweifelhafte Riesensteine (Menhir, Dolmen), die von den Ureinwohnern auf flachen Inseln errichtet wurden und jetzt nur noch bei Ebbe sichtbar sind. Ebenso ist die deutsche Nordseeküste ein ausgedehntes Senkungsgebiet und in noch höherem Grade das gesamte westholländische Tiefland, wo ein Flächenraum von 268 Quadratmeilen bereits unter das Niveau des Meeresspiegels gesunken ist und nur durch ein großartiges System künstlicher Dämme vor Überflutung geschützt wird. Diesen allmählich untertauchenden Gestaden stehen andere gegenüber, von denen das Meer langsam zurückweicht. Felsriffe und Sandbänke steigen empor, alte Häfen versanden, Seestädte werden vom Meer abgeschnitten und landeinwärts verschoben, Buchten in Strandseen umgewandelt, enge Durchfahrten vollständig geschlossen. Die Küsten Skandinaviens, Südamerikas und Südafrikas bewegen sich im großen und ganzen in aufsteigender Richtung.

Wir haben bislang immer von Hebungen und Senkungen des Landes gesprochen; aber ist diese Ausdrucksweise richtig? Wo immer Verschiebungen der Strandlinie stattfinden, kann man sie auf zweierlei Weise erklären: entweder durch Bewegung des Landes oder des Meeres. Für den Wasserstand an der Küste kommt es ja auf dasselbe heraus, ob z. B. der Strand sich um 10 m senkt oder das Meer um ebensoviel steigt. Wir kommen auf diese vielumstrittene Frage später zurück, wollen aber sogleich ein paar Fälle besprechen, in denen gar kein Zweifel möglich ist, daß das Land die Bewegung ausführt. Am klarsten liegen die Verhältnisse an den skandinavischen und schottischen Küsten.

Abb. 181. Alte Strandlinie an der norwegischen Felsküste.

Wenn das Meer von einem felsigen Gestade zurückweicht, so erscheint die alte Strandlinie, die von der Brandung in den Fels eingegrabene Wassermarke, wie eine schmale, parallel zum Ufer verlaufende Wegspur (Abb. 181). An den Felswänden der norwegischen Küste treten nun häufig mehrere derartige Einkerbungen übereinander auf. Sie lassen sich weithin verfolgen, oft bis ans Ende der tief ins Land eingebuchteten Fjorde, und deuten an, daß sich das Land mehrmals ruckweise gehoben hat; nach jedem Ruck trat ein längerer Stillstand ein, während dessen die Brandung Zeit fand, eine neue Marke im Fels auszunagen. Interessant ist nun, daß die Strandlinien in den Fjorden nicht vollkommen wagerecht ver-

laufen, sondern vom offenen Meere gegen das Ende der Buchten zu allmählich ansteigen; so erreicht beispielsweise am Throndhjem-Fjord die oberste Strandlinie zuletzt eine Höhe von 162 m über dem heutigen Meeresspiegel. Dabei entfernen sich die Wassermarken auch voneinander, indem die oberen rascher aufsteigen als die unteren. Hierin liegt der Beweis, daß es sich wirklich um eine Landhebung und keineswegs um ein bloßes Sinken des Meeres handelt, denn ein solches hätte natürlich im Innern der Buchten wie an der offenen Küste den gleichen Betrag erreichen müssen. Die mittleren Teile Skandinaviens sind am höchsten gestiegen (seit dem Ende der Eiszeit um rund 200 m), gegen das Meer hin nimmt der Betrag allmählich ab.

Die Fjorde laufen landeinwärts in Täler aus. Hier finden sich als Fortsetzung der Strandlinien ebene, von Sand und Kies aufgebaute Terrassen, die sich wie die Strandlinien stufenweise übereinander wiederholen. Sie bezeichnen die Stellen, wo ehemals die Flüsse mündeten, sind demnach alte Deltabildungen. Die höchsten Terrassen, also die ältesten Meeresgrenzen, liegen bei Kristiania etwa 200, bei Bergen etwa 150 m über der jetzigen Meeresfläche. Am Fuß der Terrassen haben sich häufig Muschelbänke erhalten, die je nach der Zeit, aus der sie stammen, eine verschiedene Tierwelt aufweisen. Die ältesten enthalten vorwiegend Schalen solcher Weichtiere, die heute nur in den Polarmeeren leben, müssen also noch der Eiszeit angehören.

An der schwedischen Ostseeküste hat man das Aufsteigen des Landes durch direkte Beobachtung nachgewiesen, indem man im Jahre 1731 Marken des damaligen Wasserstandes in den Fels einmeißeln ließ und sie in späteren Jahren wiederholt nachmaß. Stets ergab sich, daß sie höher hinaufgerückt waren, zugleich aber wurde die ungeheure Langsamkeit der Bewegung in ein helles Licht gesetzt. Wo die Hebung am stärksten war, erreichte sie im Lauf eines ganzen Jahrhunderts 1,36 m, bei Stockholm belief sie sich während der Jahre 1827—1875 auf nur 19 cm.

Abb. 182. Der Sogne-Fjord, ein versunkenes Tal.

Das Aufsteigen Skandinaviens ist allem Anschein nach der Ausgleich einer älteren bedeutenden Senkung. Die Fjorde, jene merkwürdigen vielverzweigten und gewundenen, tief in das Gebirge einschneidenden Buchten, sind offenbar nichts anderes als uralte, heute unter das Meer versunkene Täler (Abb. 182). Dafür spricht der Umstand, daß sie sich landeinwärts in gewöhnliche Gebirgstäler fortsetzen, die ihnen landschaftlich völlig gleichen, nur daß die Talsohle trocken liegt. Betrachtet man den in

Abb. 183 abgebildeten Grundriß des Sogne-Fjords, so bleibt kaum ein Zweifel möglich; man glaubt einen gewundenen Stromlauf mit verschiedenen Nebenflüssen zu erkennen, deren jeder wieder aus mehreren Quellbächen entsteht, — also ganz das charakteristische Bild eines verzweigten Talsystems. Manche Fjorde setzen sich noch über ihre Mündung hinaus als tiefe, unterseeische Rinnen eine Strecke weit auf dem Meeresboden fort.

Von der wilden, durch die Fjordbildung bedingten Zerklüftung der norwegischen Küste erhält man eine Vorstellung, wenn man deren wirkliche Länge mit der geraden Luftlinie vergleicht. Fährt ein Dampfer an Norwegens Gestaden entlang, ohne in eine Bucht einzulaufen, so legt er etwa 2700 km zurück; wer aber den Uferlinien der einzelnen Fjorde folgen wollte, müßte sich auf eine Reise von nicht weniger als 7500 km gefaßt machen. Der lebhafte Wechsel landschaftlicher Ansichten auf kleinem Raum, wie ihn eine Fjordfahrt bietet, beruht auf dieser reichen Gliederung der Küstenformen.

Wann aber sanken jene alten Täler unter das Meer? Die herrschende Ansicht geht dahin, daß Skandinavien am Ende der Tertiärzeit bedeutend höher lag als heutzutage, also ein großes Plateau bildete, das gegen Westen, ähnlich wie heute die Iberische Halbinsel, steil in die Tiefen des Atlantischen Ozeans abstürzte. Dann kam die Eiszeit und bedeckte das alte Hochland mit gewaltigen, zum mindesten tausend Meter dicken Eismassen. Unter deren Druck senkte sich das Land, wobei man daran denken muß, daß sich ja unter der festen Erdkruste eine nachgiebige, zähflüssige Magmaschicht befindet, die von dem niedergedrückten Festland zusammengepreßt wurde. Die Senkung betrug jedenfalls mehrere hundert Meter, die Gegend von Kristiania war schließlich von einem 200 m tiefen Meere bedeckt.

Als das Inlandeis abschmolz, also der Druck sich erheblich verminderte, strebte die Magmaschicht kraft ihrer Elastizität nach Wiederherstellung des früheren Zustandes und drängte das Land wieder empor. Aber wegen der ungeheuren Zähflüssigkeit des Glutbreis konnte die Bewegung nur sehr langsam vor sich gehen und hat anscheinend ihr Ziel noch immer nicht erreicht. Wo das Eis die größte Mächtigkeit besessen hatte, in der Mitte des vergletscherten Landes, war die Senkung am stärksten gewesen, und hier mußte natürlich auch die nachfolgende Hebung am kräftigsten einsetzen. Daher ist das Binnengebiet Skandinaviens weit höher aufgestiegen als die Küste.

Abb. 183. Grundriß des Sogne-Fjords.

Zugunsten dieser Eisdrucktheorie spricht, daß noch manche andere, zur Diluvialzeit vom Inlandeis bedeckte Länder später bedeutende Hebungen erfahren haben, die zum Teil noch heute andauern. In Schottland herrschen ganz ähnliche Verhältnisse wie auf der Skandinavischen Halbinsel, alte Meeresstraßen und Strandlinien lassen sich weithin verfolgen, und wenn auch das Aufsteigen der Küste in der Gegenwart nicht nachweisbar ist, hat man doch ein unzweideutiges Zeugnis, daß es sich noch in historischer Zeit geltend gemacht hat. Wie bekannt, ließ Kaiser Hadrian zum Schutz gegen die Raubzüge der Pikten und Skoten eine Grenzmauer quer durch das nördliche England ziehen, von der Solwaybucht im Westen bis zum heutigen Newcastle im Osten. Wenn dieser Wall seinem Zweck genügen sollte, mußte er bis in die Wellen der Nordsee hineinreichen, und man darf wohl annehmen, daß dies ursprünglich der Fall war; heute aber liegt das Wallende ziemlich weit vom Meer entfernt und zugleich ein Stück höher als dessen Fläche.

Auch in Nordamerika heben sich die vormals vergletscherten Landräume. Besonders interessant sind die Verhältnisse im Gebiet der großen Seen. Oberer, Huronen- und Michigansee bildeten am Schluß der Eiszeit ein einziges gewaltiges Wasserbecken, den sogenannten Lake Warren, der doppelt so groß war wie die drei Seen zusammengenommen. Infolge der ungleichmäßigen Hebung des Landes, die im Norden stärker war als im Süden, stellte sich dann allmählich der heutige Zustand her. Genaue Messungen haben nun ergeben, daß diese Bewegung noch fortdauert und, wenn sie nicht bald zum Stillstand gelangt, für die benachbarten Staaten der Union schlimme Folgen haben kann. Bekanntlich stehen die fünf großen Seen miteinander in Verbindung und fließen über den Niagara und den St. Lorenzstrom zum Atlantischen Ozean ab. Erfolgte die Hebung gleichmäßig, so würde sich daran nichts ändern; weil aber das Land im Norden höher aufsteigt, muß das Wasser in den Seen allmählich gegen Süden strömen. Davon wird in erster Linie das Südende des Michigansees betroffen, wo die Millionenstadt Chicago liegt. Die dortige Wasserscheide erhebt sich nur acht Fuß über den Seespiegel, sie wird in etwa tausend Jahren durchbrochen sein und dem Wasser des Michigan einen Abfluß zum Mississippi gewähren. Damit wird die Wasserfülle des Niagara schon bedeutend vermindert sein; wenn aber die Landhebung immer fortschreitet, muß er nach weiteren 2000 Jahren völlig austrocknen. Der gewaltige St. Lorenzstrom, nur noch vom Ontariosee gespeist, sinkt dann zu einem unbedeutenden Flüßchen hinab. Das alles ist gar nicht so phantastisch, wie es klingt, muß vielmehr so kommen, wenn die Erdkruste fortfährt, in der einmal angenommenen schiefen Richtung sich aufwärts zu bewegen. —

In allen bisher erwähnten Fällen kommt man mit der Erklärung aus: Inlandeis drückt das Land in die Tiefe, das befreite Land hebt sich wieder. Daß es aber auch andere Ursachen dieser langsamen Erdbewegungen geben muß, lehrt uns ihr gar nicht seltenes Vorkommen in Gebieten, die niemals eine Eisdecke getragen haben. Bleiben wir zunächst bei den Hebungen, so bietet der zwischen hohe Felswände und das Meer eingezwängte Paß von Thermopylä ein bekanntes Beispiel. Der Durchgang war zur Zeit der Perserkriege im Mittelmaß 60 Schritt breit, aber an einer Stelle so schmal, daß kaum ein Wagen fahren konnte. Heutzutage wäre es nicht mehr möglich, den Paß gegen ein tausendfach überlegenes Heer zu verteidigen, wie es Leonidas tagelang tat, bis ihm die von dem Verräter Ephialtes über das Gebirge geführten Perser in den Rücken fielen. An Stelle des Meeres und der unzugänglichen Sümpfe, die den Weg auf der Ostseite sperrten, dehnen sich in der Gegenwart 2000 Schritt breite Strandwiesen, durch deren Bildung der Paß seinen Charakter als Landenge vollständig verloren hat.

Überhaupt trifft man im ganzen Mittelmeergebiet deutliche Spuren junger Küstenverschiebungen, bald im einen, bald im anderen Sinn. So sind an der Westküste Siziliens die Buchten und Häfen seit Beginn der christlichen Zeitrechnung erheblich seichter geworden; der Hafen von Trapani, in dem eine Seeschlacht zwischen Römern und Karthagern stattfand, besitzt heutzutage nur noch ein halbes Meter Tiefe. Wahrscheinlich handelt es sich hier, wie am Thermophylenpaß, um Hebungen durch vulkanische Kräfte. Auf solche gehen zweifellos auch die Bodenschwankungen zurück, von denen der Serapistempel bei Pozzuoli unweit Neapel Zeugnis ablegt.

Die Trümmer dieses antiken Bauwerks haben seit ihrer im Jahr 1750 erfolgten Ausgrabung das Interesse der Geologen in hohem Grade auf sich gezogen. Neben vielen anderen Naturforschern hat auch Goethe sich mit dem merkwürdigen Problem beschäftigt; er besuchte den Tempel auf seiner italienischen Reise, zeichnete das Beobachtete auf und schrieb später eine Abhandlung darüber, deren Grundgedanke allerdings nicht haltbar ist.

Die Ruinen liegen heute vollkommen auf dem Trocknen, freilich dicht am Rand des Mittelmeeres. Während von den meisten Säulen nur noch Stümpfe erhalten sind, stehen drei große, aus einem Stück gearbeitete Marmorsäulen noch in ihrer vollen Höhe aufrecht (Abb. 184). Vor der Ausgrabung steckten sie bis zur Linie A-A in einer mehrere Meter dicken Schicht vulkanischen Sandes. Als man sie nun freilegte, fand man den oberen Teil der Säulen glatt und unverletzt, darunter aber eine etwa $3^1/_2$ m breite, von Bohrmuscheln ganz zerfressene Mittelzone. In vielen Löchern steckten noch die Schalen dieser felszerstörenden Tiere. Die Höhenlage der beschädigten Zone ist für alle Säulen genau die gleiche, der darunter folgende Teil bis zum Fundament wieder völlig unversehrt. Um den Bohrmuscheln zugänglich zu werden, muß der Tempel lange Zeit min-

bestens bis zur Linie B-B unter Wasser gestanden haben. Da nun nicht anzunehmen ist, daß die alten Römer ihn im Meere erbaut haben — von einer gegenteiligen Ansicht werden wir sogleich hören —, so muß sich die dortige Küste zunächst um mehr als 6 m gesenkt und nach längerer Zeit etwa um den gleichen Betrag wieder gehoben haben. Im vorigen Jahrhundert beobachtete man ein neues, ganz langsames Sinken, das etwa den Betrag von 2 cm im Jahr erreichte.

Diese auf und ab schwingenden Bewegungen gehen wahrscheinlich auf vulkanische Erdbeben zurück, insbesondere bringt man die Hebung, die den Tempel auf sein heutiges Niveau brachte, mit der im September 1538 erfolgten Entstehung des Monte Nuovo in Zusammenhang (vgl. S. 96). Die Aufschüttung dieses Vulkankegels in wenigen Tagen war nach alten Beschreibungen mit heftigen Erdbeben, Aschenregen und einem Zurückweichen des Meeres verbunden. Es scheint, als sei die Hebung mit plötzlichem Ruck erfolgt, während die Senkungen ganz allmählich vor sich gehen. Fünf Fuß unter dem Marmorfußboden des Tempels hat man ein älteres Mosaikpflaster ausgegraben, ein Beweis, daß sich die Küste schon zur Römerzeit in absteigender Bewegung befand.

Die jüngste Bodenschwankung fällt mit dem großen Vesuvausbruch vom April 1906 zusammen. Während der Eruption fiel das Meer bei Pozzuoli um 6, bei Portici, das dem Vulkan bedeutend näher liegt, um 12 Zoll, ohne später in seine alte Lage zurückzukehren. Offenbar haben vulkanische Kräfte die Küste an verschiedenen Stellen ungleichmäßig emporgepreßt, wenn auch die Verschiebung sich in diesem Fall in sehr bescheidenen Grenzen gehalten hat.

So einleuchtend das alles scheint, haben doch einzelne Forscher nach ganz anderen Erklärungen gesucht. Zunächst sei der Meinung Goethes gedacht, die sich folgendermaßen zusammenfassen läßt: ein den Tempel durchfließender Bach wurde von der herabgefallenen vulkanischen Asche zu einem Teich aufgestaut, in dem sich die Muscheln ansiedelten. Nun gedeihen aber Bohrmuscheln nur in Salzwasser, und wenn man auch annehmen darf, daß der Bach etwas Kochsalz aus der vulkanischen Asche ausgelaugt hat, so war dessen Menge doch jedenfalls zu gering, um den Pholaden ein Fortkommen zu ermöglichen. Hieran scheitert die Goethesche Erklärung.

Ferner ist die Ansicht aufgetaucht, die alten Römer hätten schadhaftes, von den Bohrmuscheln schon angefressenes Baumaterial verwendet. In diesem Sinne äußerte sich der gelehrte Reisende Russeger (bekannt durch seine Forschungen am oberen Nil), wie folgt: „Ich kann mich gar nicht des Gedankens entschlagen, daß die Pholadenlöcher schon von vornherein im Kalksteine vorhanden waren, aus welchem die Säulen gebrochen wurden, und daß die Alten, ohne zu ahnen, welch harte Nuß sie dadurch den

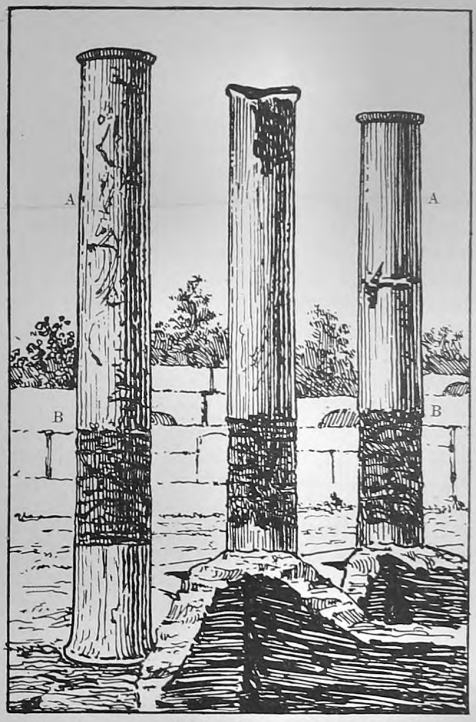


Abb. 184. Die Ruinen des Serapistempels bei Pozzuoli.

Gelehrten späterer Zeiten zu knacken gaben, sich kühn über diesen kleinen Übelstand hinwegsetzten." Diese Meinung hat aber so viel Unwahrscheinliches an sich, daß man sie wohl kaum zu widerlegen braucht. Eine andere Frage ist, ob denn das geologisch so berühmt gewordene Bauwerk wirklich ein Tempel war, und hier muß man in der Tat zugeben, daß ein strenger Beweis bislang nicht erbracht ist. D. Brauns hat diese Unsicherheit benutzt, um eine ganz eigenartige Hypothese aufzustellen. Nach seiner Ansicht gehörten die umstrittenen Säulen einer jener Piszinen (Fischbehälter) an, in denen die römischen Feinschmecker sich Vorräte von Muränen und anderen Fischen hielten. In jener Piszine seien

auch eßbare Muscheln gezüchtet worden, wobei allerdings zu bedenken ist, daß nach unserem Geschmack die Pholaden keineswegs genießbar sind. Man könnte ja auch annehmen, sie wären zufällig, als unerwünschte Eindringlinge, in das Aquarium geraten, wo sie ihre zerstörende Tätigkeit alsbald begonnen hätten. Im ganzen aber haftet dem Braunsschen Erklärungsversuch etwas Künstliches, Gezwungenes an, und die große Mehrzahl der Geologen hat sich ihm gegenüber ablehnend verhalten.

Auf und ab schwingende Bewegungen (Oszillationen) der Küste, die in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen miteinander abwechselten, kennt man auch aus anderen Gebieten der Erde. So hat offenbar Skandinavien während und nach der Eiszeit eine Reihe derartiger Oszillationen erlebt. Ein anderes, sehr merkwürdiges Beispiel bietet die kleine Felseninsel Sombrero, östlich von Portorico. Dies Eiland ist nach der Schilderung Supans aus sechs verschiedenalterigen, aber durchweg der jetzigen geologischen Periode entstammenden Kalkschichten aufgebaut; in den Spalten finden sich phosphorsaure Salze, die offenbar von alten Guanolagern herrühren. Solche konnten sich natürlich nur zu einer Zeit bilden, als die Insel über den Wasserspiegel hervorragte, während die Kalke sich durch ihren Gehalt an Seemuscheln als Absätze des Meerwassers erweisen. Mindestens dreimal war die Ablagerung der Guanoschichten unterbrochen, und mindestens ebensooft muß das Inselchen vor seiner letzten Hebung untergetaucht und wieder aus dem Meer emporgestiegen sein.

Senkungen von Küstenstrichen lassen sich im allgemeinen viel schwieriger nachweisen als Hebungen, weil bei ihnen alle Gegenstände, die als Anhaltspunkte dienen könnten, unter dem Wasserspiegel verschwinden. Nicht jeder Landverlust deutet auf eine Senkung, auch die Brandung frißt am Gestade und erweitert durch eigene Kraft das Gebiet des Meeres. Indessen wird die Zerstörung an einer langsam untersinkenden Küste besonders rasch fortschreiten, weil dort die Brandungswellen immer neue Angriffspunkte finden.

Dies ist nun fast an der ganzen atlantischen Küste Europas, von Nordspanien bis Jütland, der Fall. In erschreckendem Grade frißt das Meer an den Felsküsten der Normandie und Bretagne; die Inseln Jersey, Guernsey, Chausey und Aurigny bildeten früher Teile des Festlandes und verdanken ihre Erhaltung nur dem Umstand, daß sie aus sehr widerstandsfähigem, granitischem Gestein bestehen. Die Senkung dieser Gebiete wird außerdem direkt bewiesen durch das Vorkommen versunkener Wälder und Bauwerke. Ein bedeutender Teil Hollands ist ebenfalls unter den Meeresspiegel gesunken und wird nur durch hohe Dämme vor der vollkommenen Vernichtung geschützt. Die schlimmsten Landverluste in historischer Zeit haben die friesischen Küsten von Holland bis Schleswig zu beklagen. An Stelle des Zuider Sees existierte im Altertum und frühen Mittelalter nur ein viel kleinerer Binnensee, der Flevo; durch gewaltige Einbrüche des Meeres, namentlich in den Jahren 1250, 1287 und 1395, erhielt er seine jetzige Ausdehnung, die sich aber in neuerer Zeit durch künstliche Trockenlegung einzelner Teile wieder verringert hat.

Überhaupt scheint vom 13. bis zum 16. Jahrhundert die Senkung der Nordseeküste stärker gewesen zu sein als in der Gegenwart. Damals entstanden durch eine Reihe schwerer Sturmfluten der Dollart- und Jadebusen, wobei zahlreiche Ortschaften, im Dollart allein 50, zugrunde gingen. Borkum, Juist und Norderney sind die Überreste der großen Insel Bant, die im Januar 1362 in Stücke gerissen wurde. Im 14. Jahrhundert erlitt auch die Küste Schleswigs schlimme Landverluste, die Marschen zwischen Husum und Eider versanken damals zum großen Teil ins Meer, das übriggebliebene Gebiet aber verödete, weil die überlebenden Bewohner sich neue Wohnsitze landeinwärts suchten. Die letzte große Umgestaltung dieser Küste fand am 11. Oktober 1634 statt. Eine furchtbare Sturmflut zerriß die alte große Insel Nordstrand in das jetzt noch vorhandene Stück und 15 winzige Eilande, die sogenannten Halligen, flache Grasfelder, zum Teil nur 1 m über den gewöhnlichen Stand der Flut (Abb. 185). Von ihnen sind heutzutage noch 13 übrig, aber nur 4 tragen noch eigene Kirchen, die meisten sind nur von wenigen Menschen besiedelt oder ganz unbewohnt. Die arg bedrohte Inselgruppe versucht man neuerdings durch künstliche Schutzbauten vor der gänzlichen Vernichtung zu retten.

Ob die Senkung der Nordseeküste in der Gegenwart noch andauert, ist eine unentschiedene Streitfrage. H. Schütte hat vor einiger Zeit eine Beobachtung mitgeteilt, aus der er auf einen jährlichen Senkungsbetrag von 7 mm schließt. Auf den Oberahneschen Feldern (winzigen Inseln im Jadebusen) fanden sich

Pflugfurchen umgebrochenen Grünlandes 1,80 m unter der jetzigen Inseloberfläche, die nur etwa einen halben Meter über Normalhochwasser liegt. Das gepflügte Land ist von einer Strandrasenschicht (Groden) bedeckt. Der alte Inselboden ist demnach versunken; was jetzt über das Meer emporragt, sind später abgesetzte Schlickmassen, die sich allmählich so anhäuften, daß sich geschlossene Strandwiesen darauf entwickeln konnten. Aus Archivstudien ergab sich, daß das ehemalige Ackerland im Jahr 1669 vernichtet und überschlickt worden ist, was einer Senkung in 238 Jahren um 1,80 m entspricht.

Ein anderes ausgedehntes Senkungsfeld umfaßt die atlantische Küste Nordamerikas, etwa von Georgia bis Maine. Wie die Friesischen Inseln von Texel bis Wangeroog, dann auch das langgestreckte Sylt einen alten Uferrand kennzeichnen, so begleiten auch die Ostküste der Unionstaaten zahlreiche vorgeschobene Inseln, die man im gleichen Sinne deutet. Ein weiteres Merkmal, den vom Meer überspülten Mündungen der Fjorde vergleichbar, sind die Fortsetzungen der Flußtäler in unterseeischen Rinnen und Furchen. Auch im Meere versunkene Wälder hat man öfters an jenen Küsten beobachtet. Ebenso taucht die Südspitze Grönlands allmählich unter, so daß alte, von den ersten europäischen Einwanderern erbaute Häuser schon vom Wasser überflutet sind. Ähnliches wird von der einsamen Inselgruppe der Faröer berichtet, wo das Felseneiland Munken, das früher den Schiffern als Richtpunkt diente, nach und nach unter dem Meeresspiegel verschwunden sein soll.

Es hält schwer, für das allmähliche Untersinken ausgedehnter Küstenstriche eine befriedigende Erklärung zu finden. In keinem der letzterwähnten Fälle kann von Eisdruck die Rede sein, auch ist es vielleicht mit Ausnahme der Faröer unmöglich, vulkanische Bodenbewegungen dafür verantwortlich zu machen. Zweifellos ist das Gleichgewicht der Erdkruste in den betreffenden Gegenden gestört, und der Senkungsvorgang hat den Zweck, eine neue Gleichgewichtslage zu schaffen, aber die Ursache jener Störung liegt für uns vorderhand noch im dunklen. Einzig die alte Schrumpfungstheorie würde einen leicht gangbaren Ausweg bieten, scheitert aber ihrerseits an den einwandfrei festgestellten Hebungen ausgedehnter Landgebiete (Skandinavien, nordamerikanisches Seengebiet), die sich nur sehr gezwungen als Folgeerscheinungen einer Zusammenziehung des Erdkörpers deuten lassen.

Diese Schwierigkeit hat einige überzeugte Anhänger der Schrumpfungslehre dazu geführt, das Vorkommen von Landhebungen überhaupt zu leugnen und nur Senkungen als tatsächlich anzuerkennen. Der Leser fragt erstaunt, wie das möglich sei. Voraussetzung ist: der Erdball sinkt ein, das Meer folgt nach. Wenn irgendwo im Bereich des Meeres Einbrüche erfolgen, muß das Meer dorthin strömen und das neugebildete Becken ausfüllen; die Folge davon wird ein allgemeines Sinken des Wasserspiegels, also eine scheinbare Hebung der Küsten sein. Anderseits wird der Boden vieler Meeresteile fort und fort erhöht durch Ablagerung der von den Flüssen ins Meer geführten Schlamm- und Sandmassen, ferner durch Bildung organischer Kalksteine u. Dolomite. Überall, wo diese Absätze sich lange Zeit hindurch ungestört anhäufen, muß ein Steigen der Wasserlinie eintreten, was den Anschein hervorruft, als tauche die Küste langsam unter das Meer. Die fortschreitende Erniedrigung des Landes, eine Folge der rastlos tätigen Abtragung, trägt zur Verstärkung dieses Eindrucks bei.

Abb. 185. Werft auf der Hallig Langeneß.

Bleiben wir hier einen Augenblick stehen. Es liegt auf der Hand, daß die soeben geschilderten Schwankungen des Meeresspiegels gleichmäßig auf dem ganzen Erdkreis zur Geltung kommen müssen. Die großartigen, aus früheren Weltaltern, namentlich aus der jün-

geren Jura- und jüngeren Kreidezeit bekannten Überflutungen ganzer Kontinente, denen jedesmal in der nächst späteren Periode ein ebenso allgemeines Zurückweichen des Meeres folgte, lassen sich vielleicht auf Grund dieser Theorie erklären. Aber im Lauf der Erdgeschichte ereigneten sich auch zahlreiche kleine Küstenverschiebungen, häufige Oszillationen, die auf verhältnismäßig eng umgrenzte Gebiete beschränkt blieben (Beispiel: das norddeutsche Oligozän, S. 17). Sie gleichen durchaus den ziemlich unbedeutenden Strandveränderungen unserer Zeit und dürften ganz andere Ursachen haben als die großen Umwälzungen, deren jedesmalige Folge eine gründliche Umgestaltung des Verhältnisses von Land und Meer auf unserem Planeten war.

Zur Erklärung der kleinen Küstenschwankungen hat E. Sueß, der berühmte Wiener Geologe, eine eigenartige Theorie aufgestellt. Seiner Ansicht nach ist es nicht die Erdkruste, die auf und ab schwingt, sondern das Meer. Gewisse Ursachen sollen bald eine Anhäufung des Wassers in den Polargegenden, bald eine solche am Äquator bedingen. In der Gegenwart läßt sich beobachten, wie namentlich die nördlichen Länder scheinbar aus dem Meer emporsteigen, während gegen den Äquator hin Senkungen vorherrschen. Dies würde im Sinne von Sueß einem Zuströmen des Wassers von der kalten nach der heißen Zone entsprechen. Welche Kräfte aber könnten die Bildung eines solchen Wasserberges rund um den Äquator bewirken? Der Wiener Gelehrte denkt an Schwankungen in der Zentrifugalbeschleunigung des einschrumpfenden Erdballs, andere suchen die Ursache in einer Verlegung der Drehungsachse unseres Planeten, wie man sie an den Polschwankungen ja tatsächlich beobachtet hat. Beide Erklärungsversuche sind rein hypothetisch; denn ob die fraglichen Kräfte genügen, um ein so großartiges Auf- und Abfluten der Meere zu bewirken, bleibt völlig ungewiß. Nach einer dritten Annahme soll der Grund der tropischen Ozeane fortdauernd sinken, so daß diese Meere immer tiefer werden und das Wasser genötigt ist, von den Polen dorthin zu strömen. Es liegen jedoch keinerlei Beobachtungen vor, die zugunsten dieser Ansicht sprächen.

Wenn man es als Tatsache betrachten darf, daß die inneren Teile Skandinaviens sich weit stärker gehoben haben als die Küste, so liegt darin ein schwerwiegender Einwurf gegen die Sueßsche Theorie der Meeresschwankungen. Ebensowenig lassen sich die rings um die Ostsee beobachteten Strandverschiebungen mit ihr in Einklang bringen. Die Ostsee steht mit dem nördlichen Atlantischen Ozean in Verbindung, müßte sich also immer mehr entleeren, wenn das Wasser aller Meere wirklich gegen den Äquator strömte. Im Norden, im Gebiet des Bottnischen und Finnischen Meerbusens, ist das auch anscheinend der Fall, aber die Merkmale sinkenden Wasserstandes werden nach Süden zu immer geringfügiger, so daß sich an der Südspitze Schwedens und gegenüber am kurländischen Ufer fast gar keine Veränderung mehr zeigt. Wendet man sich gar der deutschen Küste zu, so scheint die Bewegung ins Gegenteil umzuschlagen; hier erweitert die See ihr Gebiet, wennschon die Verschiebung ungemein langsam erfolgt und zurzeit vielleicht gänzlich ruht. Diese verwickelten, in dem gleichen Seebecken auftretenden Verhältnisse lassen sich unmöglich durch ein Abfließen des Wassers, sondern nur durch ungleichmäßige Hebung der Küsten erklären, die im äußersten Norden etwa 1 m in 100 Jahren erreicht und gegen Süden allmählich auf Null herabsinkt oder gar negativ wird, d. h. in eine Landsenkung übergeht.

Versuchen wir schließlich obiges zusammenzufassen, so dürften die angeführten Beispiele zeigen, daß es unmöglich ist, die Strandverschiebungen auf eine einzige Grundursache zurückzuführen. Ein Teil, so auch die im Ostseegebiet beobachteten Erscheinungen, finden auf Grund der Eisdrucktheorie eine befriedigende Erklärung, andere beruhen zweifellos auf vulkanischen Bodenbewegungen. In vielen Fällen aber liegen die Ursachen noch im dunklen. Zweifellos sind auch die Kräfte der Gebirgsfaltung dabei beteiligt; denn wir wissen, daß sie sich in der Vorzeit gerade an den Steilabstürzen der Kontinente in hervorragendem Maße betätigten. Auf ein Fortwirken dieser Kräfte in der Gegenwart deuten die in jung gefalteten Ländern, wie Kalabrien, Japan, Kalifornien, Chile (vgl. den Abschnitt „Erdbeben"), so häufigen großen Erdbeben. Außerdem müssen Einbrüche des Meeresbodens gelegentlich ein allgemeines Fallen des Wasserspiegels verursachen, während eine Ausfüllung der Meeresbecken durch Absatz von Schichtgesteinen die Überflutung flacher Landstrecken herbeiführen kann. Hierüber wird später, bei Besprechung der Gebirgsfaltung, noch ein Wort zu reden sein.

Fünfter Abschnitt.

Das Wasser als zerstörende Macht.

Erstes Kapitel. Die Erosion des fließenden Wassers.

Wie für die Erdoberfläche im allgemeinen, so gilt ganz besonders für die Gebirge der Satz, daß ihre augenblickliche Gestaltung das Ergebnis des Zusammenwirkens aufbauender und zerstörender Kräfte ist. Man mag von vornherein geneigt sein, den aufbauenden die größere Bedeutung zuzuschreiben, ein Standpunkt, den die ältere Geologenschule einnahm, der aber nach unseren heutigen Kenntnissen verlassen werden muß. Wie es scheint, beschränkt sich die Gebirgsfaltung darauf, große, wenig gegliederte Aufwölbungen zu schaffen, riesige Wellenberge der festen Erdkruste, die durch langgestreckte Wellentäler (Mulden) voneinander getrennt sind. Am weiteren Ausbau des Gebirges sind nach moderner Auffassung Gleitvorgänge in hervorragendem Maße beteiligt. Bei genügender Steilheit der Abhänge werden nämlich ganze Schichtsysteme von den Kämmen der Wellenberge abrutschen und entweder die Wellentäler bis zu einer gewissen Höhe ausfüllen oder ins „Vorland" des entstehenden Gebirges hinausgleiten.

Auf diese Weise sind nach der Ansicht hervorragender Geologen die nördlichen Kalkalpen entstanden. Sie ruhten früher als Decke auf der kristallinischen Mittelzone des Gebirges und glitten, als diese sich immer steiler emporwölbte, nach Norden ab, wobei sich die einzelnen Teile vielfach übereinander schoben und in enge Falten legten. Solche gewaltige Massebewegungen können den ursprünglich ganz einfachen Bau eines Faltengebirges in hohem Grade verwirren und zu einem schwer löslichen Rätsel machen. Auch wenn in der gleichen Gegend die Faltungen mehrfach, in verschiedenen geologischen Zeitaltern, wiederkehren, ist es sehr schwer, den Verlauf der ungleichalterigen Wellenzüge zu verfolgen und den Grundplan des Gebirges festzustellen.

So verwickelt auch die Faltungsvorgänge mit ihren Folgeerscheinungen (Gleitungen, Überschiebungen) verlaufen, schaffen sie doch lediglich den Rohbau des Gebirges; die Ausarbeitung der feineren Skulptur bleibt den zerstörenden Kräften: Wasser, Eis und Wind, vorbehalten. Alle jene Formen, die das Hochgebirge im eigentlichen Sinne charakterisieren: die vielgestaltigen Felsspitzen, Hörner, Pyramiden und Grate, die Kare, jene sonderbaren, in die steilen Felshänge eingelassenen Nischen, die abenteuerlich zerrissenen Schluchten und Klammen — dies ganze vielgestaltige Relief ist keineswegs, wie man früher dachte, das unmittelbare Ergebnis der unter heftigen Zuckungen vollzogenen Auffaltung des Gebirges, sondern erst nachträglich, im Lauf sehr langer Zeiträume, aus dem plumpen Rohbau herausgeschnitten. Als modellierende Kräfte allerersten Ranges haben sich die Gletscher der Eiszeit betätigt. Sie gruben in die vormals flachen Talmulden tiefe Furchen mit steilen Wandungen ein und verliehen den Gipfeln jene schroffen und zerrissenen Formen, in denen die wilde Schönheit des Hochgebirges sich offenbart. Die Alpen und zahlreiche andere Faltengebirge trügen heute keinen „alpinen" Charakter, wäre nicht eine mehrmals wiederholte Vereisung über sie hinweggegangen.

Die zerstörenden Kräfte vermögen noch mehr: sie formen unter günstigen Umständen Flachländer zu Gebirgen um, ohne daß ihnen dabei irgendwelche in der Tiefe wurzelnde („tektonische") Kräfte zu Hilfe kommen. Auf diese Weise entstehen die sogenannten Erosionsgebirge. Unter Erosion (vom lateinischen erodere, abnagen, zerfressen) versteht man die nagende, grabende und einschneidende Arbeit des fließenden Wassers (vom winzigen Regenrinnsal bis zum mächtigen Strom), im weiteren Sinn auch die felszerstörende Tätigkeit der Meeresbrandung, der Gletscher und des Windes. Mit den mannigfaltigen, formschaffenden und formvernichtenden Wirkungen dieser Kräfte werden uns die folgenden Kapitel näher bekannt machen.

Als typisches Erosionsgebirge haben wir schon früher die Sächsische Schweiz kennen gelernt. Die Erosion hat hier Berge geschaffen, indem sie in ein gänzlich ungestörtes, aus wage-

recht liegenden Sandsteinen aufgebautes Tafelland tiefe Furchen eingrub, die nunmehr als Täler des Berglandes erscheinen, während die stehengebliebenen Sandsteinrücken als Berge hervortreten. Das ursprüngliche Tafelland mag sich etwa im Niveau des Königsteins und Liliensteins ausgedehnt haben. Nach Cotta hat man sich vorzustellen, daß zunächst durch eine großartige Auswaschung, die unter ganz anderen Umständen als den gegenwärtigen stattfand, die oberen Schichten des Plateaus bis auf wenige Überreste weggespült wurden; eben diese Überreste bilden jetzt die höchsten Erhebungen der Sächsischen Schweiz, isolierte, steil abfallende Tafelberge, den festungsgekrönten Königstein, die gewaltige, breite Sandsteinmasse des Liliensteins usw. Erst später wurde in die Ebene, aus der diese Felsruinen aufstiegen, das jetzige Elbtal mit seinen zahlreichen Seitentälern und engen Schluchten eingeschnitten, wobei die senkrechte Zerklüftung der Sandsteinbänke oft Ursache der absonderlichsten Felsbildungen wurde (Abb. 186).

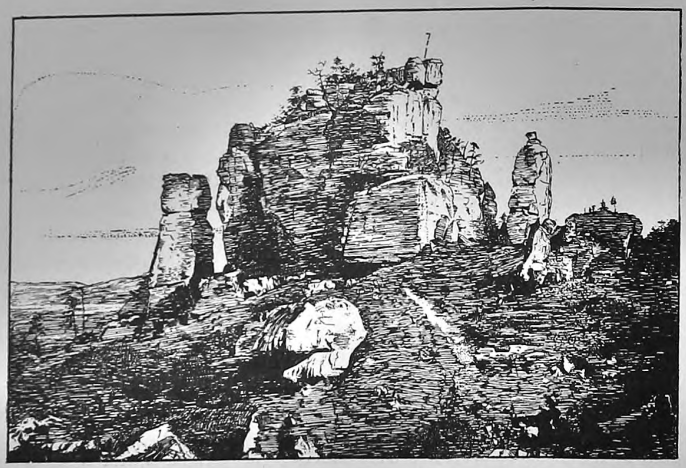


Abb. 186. Das „Vordere Raubschloß" in der Sächsischen Schweiz.

Welche Art der Erosion war nun hier tätig? Das Elbsandsteingebirge war, abgesehen von seinem nördlichsten Grenzgebiet, niemals vergletschert; die Wirkung des Eises kommt also nicht in Frage. Was den Wind betrifft, so hat er zweifellos bei der Zernagung und Zertrümmerung der Felswände in ausgiebigem Maße mitgewirkt, aber die Hauptsache, die Auswaschung der zahlreichen Täler und Schluchten, kann nur ein Werk des fließenden Wassers sein.

Noch heute lagern die Sandsteine der Sächsischen Schweiz fast überall horizontal (Abb. 187), und an den gegenüberliegenden Talwänden entsprechen sich die Schichten in der Regel vollständig, woraus hervorgeht, daß keinerlei gewaltsame Bodenbewegungen, Faltungen, unregelmäßige Hebungen oder Einbrüche stattgefunden haben können. Überdies beweist die aufrechte Stellung der zahlreichen Felssäulen (Abb. 172), daß das ganze Gebiet von stärkeren Erderschütterungen seit undenklichen Zeiten verschont geblieben ist. Nur ganz allmähliche, für den Augenblick unmerkliche Hebungen und Senkungen nach Art der im vorigen Kapitel geschilderten Strandverschiebungen sind denkbar.

Ähnlich wie in der Sächsischen Schweiz liegen die Verhältnisse auch in manchen anderen Gebieten, so in Siebenbürgen, das früher größtenteils ein von miozänen Ablagerungen bedecktes Tafelland war und heute durch die Erosion in ein welliges Hügelland verwandelt worden ist. Das Karreegebirge des Kaplandes besteht aus zahlreichen inselartigen Tafelbergen, die sich annähernd im gleichen Niveau, etwa 300 m, über die Hochebene erheben und durch Schluchten voneinander getrennt sind. Ähnliche „Inselberge" verleihen auch gewissen Landschaften in den Südstaaten der Union ein höchst eigentümliches Gepräge, und die dortige, Spanisch redende Bevölkerung hat ihnen den sehr anschaulichen Namen Mesas, Tische, gegeben. In allen diesen Fällen erkennt man an der fast ungestörten Lagerung der Schichten, daß die eigenartige Gestalt des Bodenreliefs nicht von tektonischen Be-

wegungen, sondern nur von der Erosion herrühren kann.

Wie vollbringt nun die Erosion so große Dinge? Welche Werkzeuge und Hilfsmittel benutzt sie, um das anstehende Felsgestein Hunderte von Metern tief zu durchnagen und jene wechselvollen Formen hervorzubringen, die den Schmuck der typischen Erosionslandschaften bilden? Beginnen wir mit den allereinfachsten Erscheinungen.

Jeder Bach, jedes Rinnsal, dessen Lauf

Abb. 187. Partie aus den Weckelsdorfer Felsen (Fortsetzung des Elbsandsteingebirges).

wir verfolgen, lehrt uns, daß fließendes Wasser in lockeren Erdschichten Rinnen und mannigfach gestaltete Vertiefungen ausgräbt. In großartiger Weise tritt diese Fähigkeit bei Überschwemmungen und Hochfluten hervor, die fast nie vorübergehen, ohne daß Flüsse und Bäche an zahlreichen Stellen ihr Bett erweitern, ja selbst große, im Wege liegende Hindernisse durchbrechen und ihren Lauf streckenweise ganz und gar verändern. Die Geschichte der meisten Flüsse ist reich an derartigen Ereignissen, in riesenhaftem Umfang haben Verlegungen der Betten unserer deutschen Ströme während des Überganges von der Eiszeit zur Gegenwart stattgefunden; wir kommen auf diese interessanten Verhältnisse bei Beschreibung des norddeutschen Flachlandes im 2. Bande zurück. Selbst noch in historischer Zeit hat sich der Lauf mancher deutschen Flüsse, wie des Oberrheins und der Saale, auf gewissen Strecken erheblich geändert, wenn auch diese Ereignisse gegenüber den gewaltigen Umwälzungen der Vorzeit kaum der Rede wert sind. Wo aber noch in der Gegenwart die Unbeständigkeit eines Stromlaufs in furchtbarer Weise sich geltend macht, das ist das Gebiet des Hoangho, des „Gelben Flusses" im nördlichen China.

Die geschichtlichen Nachrichten über verhängnisvolle Hochfluten dieses Stromes reichen 4000 Jahre zurück. Bis ins 13. Jahrhundert unserer Zeitrechnung benutzte der Hoangho auf seinem Unterlauf das Bett, das er auch heute wieder innehat. Dann erfolgte in einer entsetzlichen Katastrophe der Durchbruch nach Südosten, wodurch die Mündung etwa 90 Meilen

weiter südlich verlegt wurde. Diesen Lauf behielt der Strom etwa 500 Jahre lang bei, um im Jahre 1856 unter nicht minder furchtbaren Verwüstungen an Menschenleben, Gebäuden und Anpflanzungen sich in sein altes nördliches Bett zurückzuwälzen. Die folgenden Jahrzehnte brachten nicht weniger als 28 weitere, zum Teil sehr folgenschwere Durchbrüche; so soll allein bei der Überschwemmung von 1887 über 1 Million Menschen ertrunken sein. Die Gesamtzahl der seit wenig mehr denn 30 Jahren vom Hoangho verschlungenen Opfer übersteigt zweifellos bei weitem alles, was Erdbeben und Vulkanausbrüche auf der ganzen Erde im gleichen Zeitraum dahingerafft haben.

Den Verheerungen plötzlicher Wasserfluten sind die obersten, lockeren Bodenschichten: Sand, Lehm, Gesteinschutt, Kulturboden usw., rettungslos preisgegeben; wo das Gefälle einigermaßen steil, daher die lebendige Kraft des Wasserstroms sehr stark ist, wird alles bis auf den nackten Felsuntergrund fortgeschwemmt. Aber dem festen, gesunden Felsboden selbst vermögen rasch vorübergehende Hochfluten, seien sie auch im Moment noch so gewaltig, nicht viel anzuhaben. Hier ist es nicht die Masse des Wassers, nicht der plötzliche Stoß, der eine Wirkung ausübt, sondern im Gegenteil die ganz allmähliche, für den Augenblick völlig unmerkliche feilende und schleifende Tätigkeit des bewegten Elements. Sie ist jederzeit im Gange, selbst beim unscheinbarsten Wasserlauf, wenn nur das Gefälle einen gewissen, ziemlich geringen Grad besitzt, und ihre Wirkungen summieren sich im Lauf langer Zeiträume in staunenerregender Weise. Die große Mehrzahl der Täler verdankt wohl ihre ursprüngliche Anlage tektonischen Erdbewegungen (Faltungen, Verwerfungen usw.), aber die eigentliche Talrinne hat das Wasser ausgegraben.

Die Vorarbeit leistet dabei die Verwitterung. Sie zersetzt und zersprengt die Uferfelsen — namentlich der Spaltenfrost (S. 144) spielt hier eine bedeutende Rolle —, die gelockerten Massen stürzen bei eintretendem Tauwetter in die Tiefe oder werden von starken Regengüssen hinabgeschwemmt. Unten bemächtigt sich ihrer das fließende Wasser und führt sie fort, wobei die einzelnen Steine sich sowohl gegenseitig abscheuern und abrunden als auch durch Reibung den felsigen Grund des Bachbettes allmählich vertiefen. Selbst die allerfeinsten, schwebenden Teilchen, deren Anwesenheit nur an einer schwachen Trübung des Wassers zu erkennen ist, wirken noch schleifend auf den Felsboden ein. Man bezeichnet diese Tätigkeit am besten mit dem Fremdwort Korrosion*) (vom lateinischen corrodere, zernagen).

Je größer die Geschwindigkeit eines Baches oder Flusses, um so bedeutender ist natürlich die Menge des mit fortgerissenen Schuttes, und entsprechend stärker wirkt auch die Korrosion. Daraus geht hervor, daß Gebirgsbäche ihr Bett am schnellsten vertiefen werden. Die stürmisch herabrauschenden Wildwasser rollen selbst

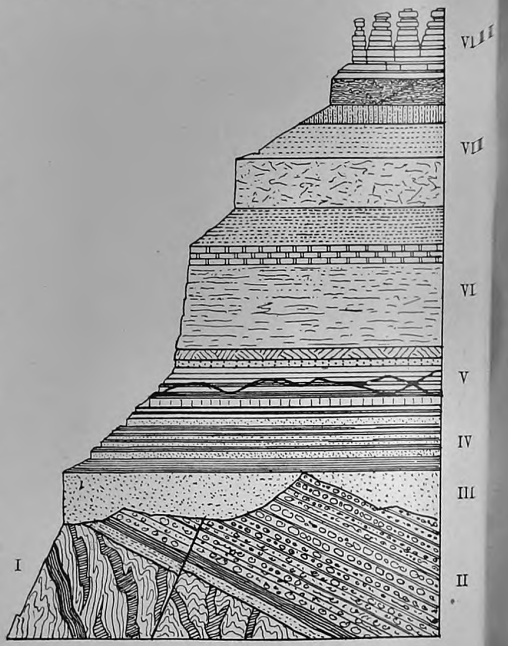


Abb. 188. Geologischer Aufbau der Canonwände. Nach Fr. Frech.
I. Gneis mit Granit- und Diabasgängen. II. Algonkische Schiefer und Sandsteine. III u. IV. Kambrischer Tontosandstein. V. Devonkalk (nur stellenweise vorhanden.) VI. Red-Wall-Kalk, unterkarbonisch. VII. Aubrey-Sandstein, oberkarbonisch. VIII. Aubrey-Kalk, oberkarbonisch.

schwere Blöcke mit sich fort, deren Bewegung den Untergrund stark abnutzen muß. Ein sehr lehrreiches Beispiel dieser Gewalt liefert der Silltunnel bei Matrei an der Brennerbahn. Um Platz für die Bahnlinie zu gewinnen, hat man hier die Sill durch einen unterirdischen Kanal geleitet, dessen Boden mit einem einen Meter dicken Granitpflaster versehen wurde; aber die mit rasender Geschwindigkeit hindurchsausenden Geröllmassen schliffen das Pflaster so rasch ab,

*) In den meisten geologischen Lehrbüchern steht statt dessen Korrasion, was aber das „Zusammenkratzen" bedeutet, also dem Sinne des hier sich abspielenden Vorgangs durchaus nicht entspricht.

daß es schon nach einem Jahr erneuert werden mußte.

Die Macht der Korrosion bekunden wohl am augenfälligsten die sogenannten Cañons (d. h. „Röhren") des Koloradoflusses in Arizona. Leider ist dies ungemein interessante Gebiet so entlegen und unwirtlich — zum weitaus größten Teil ein vollkommenes Wüstenland —, daß es bis vor kurzem nur von Forschungsreisenden besucht werden konnte. Neuerdings ist wenigstens der südliche Plateaurand des Großen Cañons durch eine Eisenbahn leichter zugänglich geworden.

Das Territorium Arizona bildet im ganzen ein ungeheures Tafelland fast völlig horizontal lagernder Schichten, an deren Aufbau vom Kambrium an alle paläozoischen und mesozoischen Formationen und zu oberst auch noch eozäne Ablagerungen teilnehmen. Dies gewaltige, niemals von einer nennenswerten tektonischen Störung betroffene Schichtensystem ruht auf schräg aufgerichteten algonkischen Schiefern und Sandsteinen, und

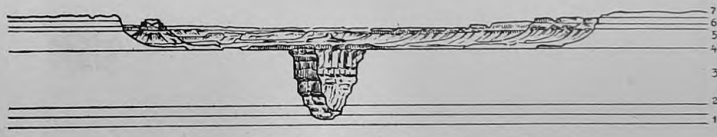


Abb. 189. Querschnitt durch den Großen Canon des Kolorado.
(1 u. 2 Algonkium und Kambrium; 3 Red-Wall-Kalk, karbonisch; 4 karbonischer Ton; 5 karbonischer Sandstein. 6 Kieselkalk; 7 Perm.) (Nach Lapparent.)

diese wiederum auf stark gefaltetem, von Granit durchsetztem Gneis, der nach gewöhnlicher Auffassung der „azoischen" Periode angehört (vgl. das Profil (Abb. 188). Daß der Aufbau des Plateaus bis in solche Tiefen der Forschung zugänglich ist, beruht eben auf der stark erodierenden Tätigkeit, die der Kolorado und seine Nebenflüsse hier seit Jahrmillionen ausgeübt haben. Ihre Wasserläufe haben in die Erdrinde derart tiefe Schluchten, die Cañons, eingeschnitten, daß die Aufeinanderfolge der Schichten, von den ältesten bis zu den jüngsten, wie im Modell sichtbar geworden ist. Der Kolorado selbst fließt etwa 60 geographische Meilen lang in einem 1000—1800 m tiefen Cañon, der senkrecht in die sedimentären Formationen und noch 2—300 m tief in den darunter liegenden Gneis eingesenkt ist. Zahlreiche Nebenschluchten von annähernd derselben Tiefe münden in ihn ein.

Die Cañons sind am oberen Rande oft so scharf, wie mit dem Messer abgeschnitten, und stürzen in glatten, senkrechten Wänden, an deren Bezwingung selbst der kühnste Alpinist verzweifeln müßte, in die ungeheure Tiefe hinab. Und doch verkörpern sie nur einen Teil der vom Kolorado im Lauf von Jahrmillionen geleisteten Arbeit. Mißt man die Tiefe, bis zu der die Erosion vorgeschritten ist, nicht vom Rande des eigentlichen Absturzes, sondern vom Niveau der höchsten (eozänen) Plateauschichten ab, so ergibt sich ein Höhenunterschied von mehr als drei Kilometer. Die Cañons sind erst das Werk einer geologisch sehr jungen Zeit, möglicherweise fällt ihre Bildung ganz und gar in die gegenwärtige, d. h. nachtertiäre Periode. Schon zuvor hatte der Strom in die Hochebene ein weites, bis zu 20 km breites Tal eingegraben, auf dessen Grunde dann später, wahrscheinlich infolge einer Änderung der klimatischen Verhältnisse, die Austiefung des berühmten Schluchtensystems erfolgte. Es entstanden auf diese Weise zwei ineinander geschachtelte Täler, von deren gegenseitigem Verhältnis das beistehende Profil eine Vorstellung vermittelt. Wer etwa im Luftballon das Koloradogebiet überflöge, würde das Plateau plötzlich mit steilen Terrassen in eine breite, flache Niederung abstürzen sehen, in deren Mitte eine enge, abgrundtiefe Rinne eingeschnitten ist.

Eine Durchquerung der Hochebene wird im allgemeinen als sehr einförmig geschildert, doch gibt es, vor allem am Rande der Cañons, zahlreiche Punkte von hervorragender landschaftlicher Schönheit. In der Regel verrät sich die Nähe der ungeheuren Schluchten durch keinerlei vorbereitende Anzeichen. Tagelang geht der Ritt durch lichte Föhrenwälder, über flach gewellten, im Frühsommer mit Blumen übersäten Präriegrund, der nur selten von etwas steileren Tälern durchkreuzt wird, mit einem Mal aber sinkt der Boden unmittelbar vor den Füßen des Reisenden in unermeßliche Tiefen hinab. Ein Augenblick genügt, um eine der großartigsten Naturszenen zu enthüllen, die sich auf der Erde finden.

Wahrhaft überwältigend ist nach Schilderung der Besucher die Aussicht vom „Point Sublime" oberhalb des Grand Cañon. „Das erhabenste und die tiefste Ehrfurcht einflößende

Schauspiel der Welt", so drückt sich der amerikanische Geologe C. E. Dutton aus, der unermüdliche Erforscher dieses wunderbaren Landes. Eine riesenhafte, fast 2000 m hohe, in unzähligen Terrassen abstürzende, durch Schluchten, Grotten, Felsamphitheater und vorspringende Grate überreich gegliederte Gebirgsmauer steigt vor den Blicken des Beschauers empor, zur Rechten und zur Linken sich erstreckend, soweit das Auge reicht. Diese ganze gewaltige Masse ist aufgebaut aus vollkommen horizontal liegenden Schichten, die sich infolge ihrer verschiedenen Färbung mit staunenswerter Deutlichkeit abzeichnen, je nach ihrer Mächtigkeit als dicke Lagen festgefügten Mauerwerks oder als feine, in die Stirn der Abhänge eingegrabene Linien. Oben schließt den Horizont auf weite Strecken eine vollkommene gerade Linie ab: die Oberfläche des Plateaus, nur in großen Zwischenräumen unterbrochen von etwas höher aufsteigenden Terrassen oder vereinzelten vulkanischen Erhebungen.

Der Farbenwechsel ist reich und prachtvoll. Die obersten Bänke zeigen ein blasses, etwas gelbliches Grau, darunter liegen Sandsteine, in zwei Abteilungen geschieden, die oberen zart fleischfarben, die unteren strahlend in einem lebhaften, feurigen Rot. Nun folgt das Hauptglied der ganzen Schichtenreihe, der Red-Wall-Kalk, eine 2—3000 Fuß mächtige Lage von ganz eigenartiger, tief purpurner Färbung. Die Töne sind nicht so glänzend wie bei dem überlagernden, flammend-roten Sandstein, es ist ein tiefes, sattes, mit Blau vermischtes Rot. Nur in den untersten Schichten walten dunkle Schattierungen: tiefbraune und endlich eisenschwarze

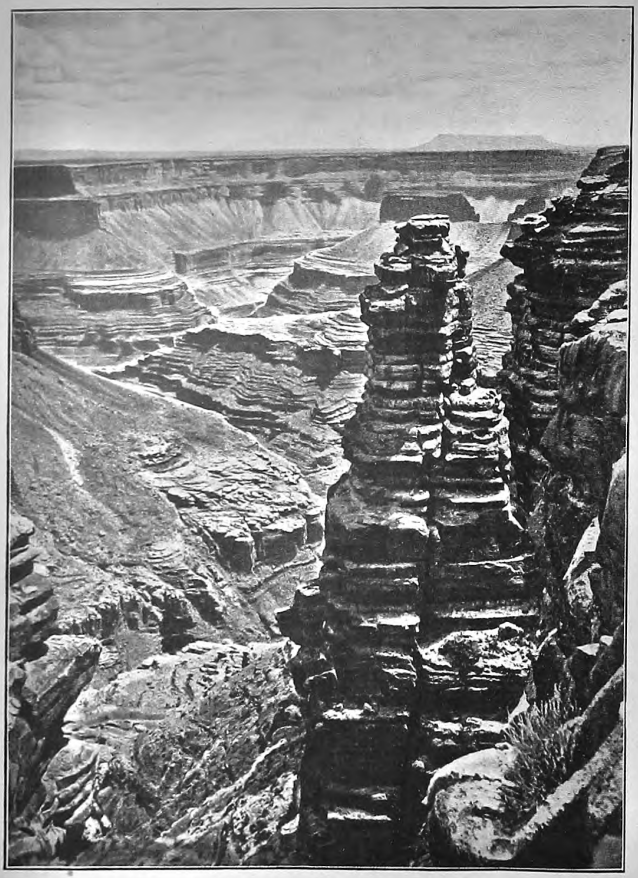


Abb. 190. Blick in den Marmorcanon des Kolorado. Im Vordergrunde der Fels, genannt „Altar des Shini-Mo".

Gesteine bilden die Grundmauern des ungeheuren Gebirgswalls.

Über dem allen denke man sich ausgegossen die strahlende Sonnenglut des amerikanischen Westens, die in dieser seltsamen Landschaft Effekte hervorbringt, wie sie uns sonst nur das Fernrohr am Rand des halb beleuchteten Mondes enthüllt. Alle Halbtöne, alle Abstufungen von Licht und Schatten fehlen, grelle, blendende Helligkeit, soweit die Sonne reicht, in den Schluchten aber und auf der Schattenseite der Bergwände gestaltlose, undurchdringliche Finsternis. Über den schwarzen, nur hier und da von einem schrägen Sonnenstrahl getroffenen Felsen schimmert die Luft in eigentümlichem, metallischem Glanz, der viel dazu beiträgt, dem reiche formschaffende Kraft der Wassererosion in so großartiger Weise zutage treten wie am Point Sublime. Keine Feder vermag die gigantischen Felsgebilde zu schildern, die vom Grunde der Schluchten oft 1000 m emporragen und bald wie zyklopische Felsenschlösser, bald wie kolossale, von massigen Türmen überragte Basteien, bald wie sonderbare, einer gewissen Zierlichkeit nicht entbehrende Tempel und Pagoden erscheinen.

Aber ist es denn unbedingt sicher, daß gerade die Erosion solche Wunderdinge vollbracht hat? Gar viel hören wir in der Geologie von Spalten und Klüften innerhalb der Erdrinde. Ist es nicht denkbar, daß auch das Koloradoplateau, wie so viele andere Gebiete, in einer

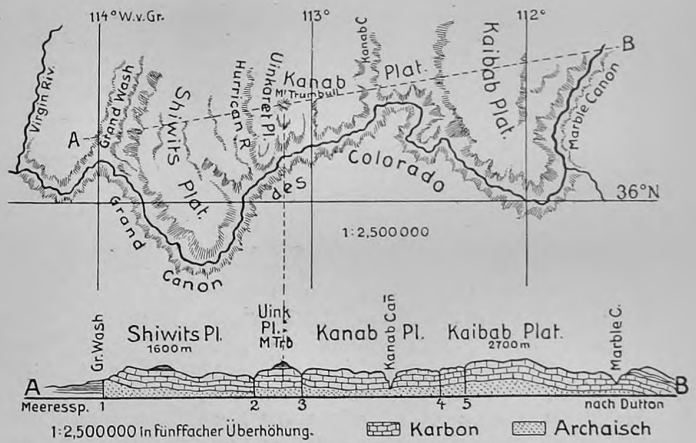


Abb. 191. Geologisches Profil durch das Koloradoplateau. (Nach Dutton und Wagner.)

ganzen Landschaftsbild einen überaus sonderbaren, fast unirdischen Anblick zu verleihen.

Zu Füßen der Riesenmauer dehnt sich eine langgestreckte Ebene, das ältere Tal; darin windet sich ein dunkler Schlund, in dessen verborgenen Tiefen der Kolorado fließt. Nur auf kurze Strecke nimmt der Cañon eine solche Richtung, daß der Strom von unserem Standpunkt aus sichtbar wird. Ein fahles, scheinbar unbewegtes, schmutzig-rotes Band, eingeschlossen im tiefen Schatten der Granitwände. In Wirklichkeit ist dieser tote Streifen ein reißender Strom, der schäumend und donnernd in unzähligen Kaskaden über die Felsstufen hinabstürzt, aber die weite Entfernung, die ungeheure Tiefe läßt alle Einzelheiten dieses lebendigen Bildes spurlos verschwinden.

Es gibt keinen Punkt der Welt, wo die staunenswerte Gewalt und ebenso die über- früheren Periode starker Bodenbewegungen in Stücke, in einzelne Schollen zerbrach, zwischen deren gelockerten Fugen das Wasser bequeme Abflußwege fand? Mit anderen Worten: Sind diese abgrundtiefen Schluchten, die Cañons, nicht doch vielleicht ursprüngliche, von tektonischen Kräften aufgerissene Spalten, die das Wasser später noch vertieft und erweitert hat?

Diese Fragen berühren den Kern des Problems der Talbildung, auf das wir erst eingehen können, wenn wir auch die übrigen Kräfte der Erosion und ihre Wirkungen kennen gelernt haben. Beim Koloradoplateau liegen aber die Verhältnisse so einfach, daß eine Antwort schon an dieser Stelle möglich ist.

Jenes Hochland wurde tatsächlich während der Tertiärzeit durch nordsüdlich laufende Sprünge in mehrere Schollen zerlegt, aber, wie aus dem beistehenden Profil hervorgeht, ent-

sprechen die Spalten keineswegs den Cañons, die ganz unabhängig von ihnen mitten in das ungestörte Tafelland einschneiden. Wo die Erdrinde zerbricht, geschieht das nie in der Weise, daß die beiden Bruchstücke seitlich auseinander weichen, vielmehr wirken die Kräfte senkrecht oder schräg von oben nach unten, der eine Flügel scheint in die Tiefe gesunken, der andere emporgehoben. Abb. 192 veranschaulicht schematisch einen solchen Vorgang, den man eine Verwerfung nennt. Vormals zusammen-

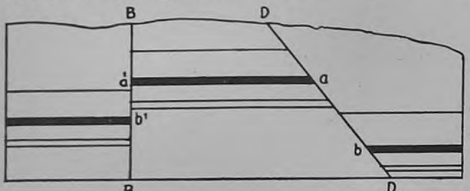


Abb. 192. Schematisches Bild eines von zwei Verwerfungen (BB und DD) durchsetzten Rindenstücks. Die mittlere Scholle ist stehengeblieben, die beiden Flügel sind ungleich abgesunken.

hängende, im gleichen Niveau lagernde Schichten sind auseinandergerissen und nehmen nun eine verschiedene Höhenlage ein. Nur selten kann der Geologe feststellen, ob beide Flügel sich bewegt haben, oder nur der eine, ob dieser sich gehoben, oder ob der andere sich gesenkt hat; denn das Ergebnis ist, wie man leicht einsieht, in beiden Fällen das gleiche. Die Größe der Verschiebung, die sogenannte Sprunghöhe, gemessen an dem vertikalen Abstand vormals zusammenhängender Lagen, kann äußerst verschieden sein; bald beträgt sie nur wenige Zentimeter, bald einige Meter und steigt nicht selten auf mehrere hundert, ja selbst tausend und mehr Meter. Verwerfungen von äußerst winzigen Dimensionen lassen sich oft an geschliffenen Handstücken von Schichtgesteinen beobachten, besonders schön am „Ruinenmarmor", einem Kalkmergel mit unzähligen feinen Bruch- und Verschiebungslinien, deren Sprunghöhe sich in der Regel nur auf wenige Millimeter beläuft (Abb. 194).

Abb. 193. Verwerfung in den Kalkklippen von Angoulins.

Wären die Cañons des Koloradoplateaus ursprüngliche Spalten, so müßten sich auch Verwerfungen nachweisen lassen, d. h. an den gegenüberliegenden Wänden der Schichten müßten die gleichalterigen Schichten in verschiedener Höhenlage zum Vorschein kommen. Das ist nun keineswegs der Fall, die beiden Wände entsprechen sich in allen Einzelheiten aufs vollkommenste, und würde eine riesenhafte Kraft sie von beiden Seiten wieder zusammenschieben, so daß der Cañon verschwände, dann kämen genau gleichaltrige Schichtabsätze miteinander in Berührung. Damit ist bewiesen, daß jene kilometertiefen Schluchten nicht durch plötzliche gewaltsame Vorgänge entstanden sind, sondern von einer ganz allmählich wirkenden Kraft ausgehöhlt wurden, und die Ursache dieser Kraft kann nur die Korrosion des fließenden Wassers sein. —

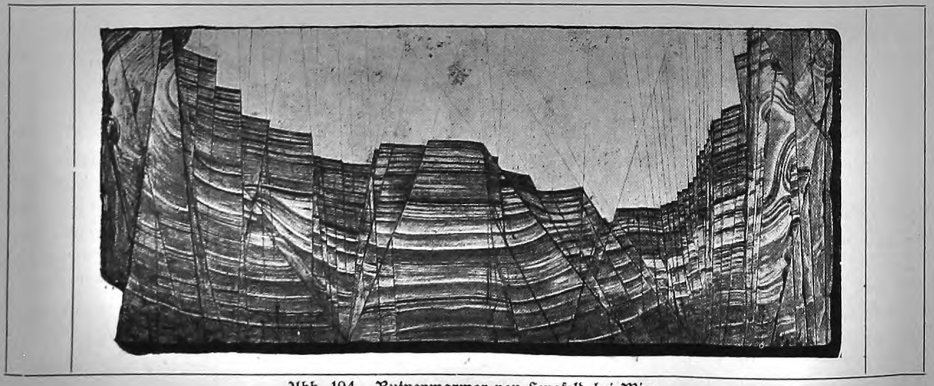


Abb. 194. Rutnenmarmor von Lengfeld bei Wien.

In einem anderen Cañon des amerikanischen Westens (im Staat Utah, unweit der Navajoberge) hat man vor einiger Zeit ein seltenes Naturdenkmal entdeckt, die in Abb. 195 dargestellte *natürliche Felsbrücke*. Ihr höchster Punkt liegt 308 amerikanische Fuß über den Wänden, die in der Regel gleichfalls in einen älteren Talboden eingesenkt sind. Wir treffen sie als charakteristischen Zug des Landschaftsbildes hauptsächlich in den Kalkalpen, und zwar mit auffallender Regelmäßigkeit *an den Mündungen der Seitentäler ins Haupttal*;

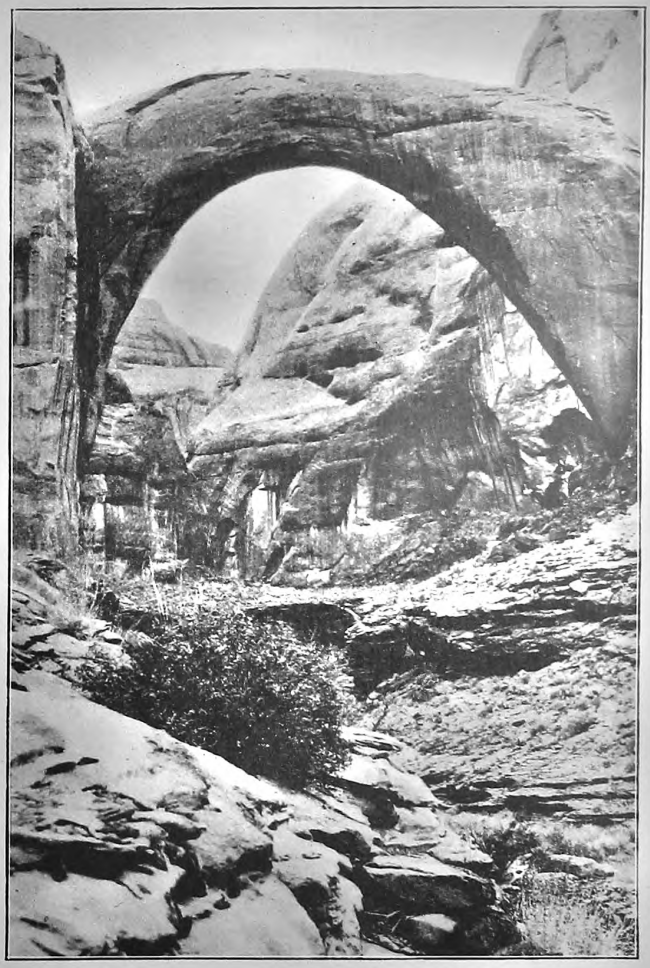


Abb. 195. Naturbrücke in Utah.

der Schlucht, die Länge der Spannung beträgt 273 Fuß. Die Wölbung ist zweifellos vom fließenden Wasser ausgehöhlt, und das Ganze als Seitenstück zu den im nächsten Kapitel besprochenen Brandungstoren aufzufassen.

Eine gewisse Ähnlichkeit mit den Cañons besitzen die *Klammen* der Alpen, enge Felsschluchten mit senkrechten, oft sogar überhängenwie das zusammenhängt, werden wir sogleich sehen. Früher fast durchweg unzugänglich, sind die Klammen nunmehr zum größten Teil von den Gebirgsvereinen erschlossen und durch Bretterstege oder in den Fels gesprengte Galerien gangbar gemacht worden. Die Wände weisen in der Regel zahlreiche Nischen auf, halbkugelförmige, von der wirbelnden Bewegung des strudelnden

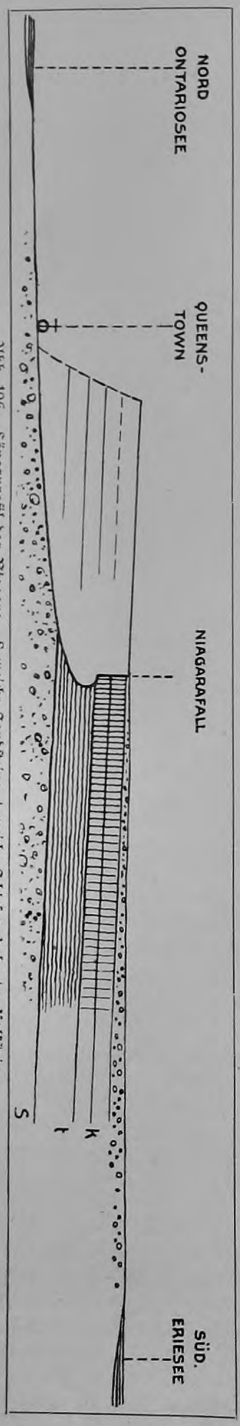


Abb. 196. Längsprofil des Niagara. S weiche Sandsteine, t weiche Schiefer, k harter Kalkstein.

Wassers ausgehöhlte Vertiefungen, die oft hoch über dem gegenwärtigen Bachlauf in langen Reihen an der Felswand entlang ziehen, zum Beweis, daß das Wasser früher tatsächlich dort oben floß. Ausgezeichnet lassen sich diese Erscheinungen in der vielbesuchten Aareschlucht bei Meiringen studieren, ferner in der Taminaschlucht, wo die warme Quelle von Bad Pfäffers entspringt, in der Lütschinenschlucht zu Füßen des unteren Grindelwaldgletschers, in der Liechtensteinklamm bei St. Johann im Pongau und vielen anderen Erosionsschluchten der Alpen. Überall klärt uns die geglättete Oberfläche der Felsen zusammen mit den zahlreichen Strudellöchern und Erosionskesseln in deutlichster Weise über den Charakter der Kraft auf, die diese tief hinabreichenden Spalten ausgemeißelt hat.

Wie oben erwähnt, münden Seitentäler häufig durch eine Klamm in das Haupttal; im Kalkgebirge ist das sogar die Regel. Wo Klammen weiter talaufwärts vorkommen, bezeichnen sie gewöhnlich eine scharf ausgesprochene Talstufe. Wer das Ötztal hinaufgewandert oder gefahren ist, erinnert sich ohne Zweifel, daß der Charakter des Weges in bestimmten Zwischenräumen mehrfach wechselt: bald windet er sich mit bedeutender Steigung empor über Abhänge voll wilder Blockmassen oder durch enge Felsenpässe, bald führt er fast eben durch flache, wiesenbedeckte Talweiten, auf deren Grund die größeren Ortschaften des Tals: Umhausen, Längenfeld, Sölden, erbaut sind. In fünf derartige Stufen ist das Ötztal gegliedert, und an zwei Stellen bildet eine Klamm den Übergang von einer Terrasse zur anderen. Großartig ist namentlich der Aufstieg zur letzten, obersten Talstufe: auf rauhem Pfad, vorbei an riesigen Felsblöcken, an prachtvollen Gletscherschliffen und Gletschermühlen zieht der Wanderer am Rand der wilden Kühtreienschlucht entlang, in deren Tiefe die Ache donnernd und schäumend zum Talkessel von Sölden hinabstürzt.

Einen ähnlichen terrassenförmigen Aufbau zeigen viele Täler der Alpen, — wie man sich seine Entstehung zu denken hat, soll später erklärt werden. Uns interessiert vorläufig nur die Feststellung, daß die Klammen fast ausschließlich dort auftreten, wo das Talgefälle eine jähe Senkung nach Art einer Stufe erleidet. Denn auch alle Seitentäler, die in Klammen endigen, besitzen ein viel höheres Niveau als das Haupttal; kurz vor der Mündung bricht der vorher sanft geneigte Talboden ab und geht in einen steilen Abhang über, in den der Bach eine tiefe Schlucht eingerissen hat. Wie aber war es früher, vor Beginn der Erosionsarbeit? Damals müssen sich die Wasser im gewaltigen Sturz direkt über die Außenseite des Abhangs in das tiefer gelegene Tal ergossen haben. Sonach sind im allgemeinen die Klammen aus Wasserfällen hervorgegangen, die sich rückwärts immer tiefer in die Wand eingenagt und schließlich in eine Reihe von Stromschnellen auf dem Grunde einer tiefen Felsspalte verwandelt haben.

Es gibt einen mächtigen Strom, an dem sich vor unseren Augen ein ähnlicher Vorgang vollzieht, wie er zur Entstehung einer Klamm führt, nur in weit größerem Maßstabe und infolge der gewaltigen Wassermenge so rasch, daß man das Fortschreiten der Erosion messend verfolgen kann. Der Strom ist der Niagara, und die von ihm ausgehobelte Klamm ist die sieben englische Meilen lange, einem Cañon gleichende Talschlucht vom Fuß des heutigen Wasserfalles bis zur Stadt Queenstown, wo der Strom in die offene, flache, den Ontariosee umgebende

Landschaft eintritt. Die Entstehung dieses merkwürdigen Strombettes erklärt sich auf Grund der geologischen Verhältnisse in sehr einfacher Weise.

Der Niagara verbindet bekanntlich den Eriemit dem Ontariosee. Wo der Strom den Erie verläßt, ist er breit und seeähnlich und fließt mit geringem Gefälle über eine weite Hochebene dahin. Nach etwa 15 englischen Meilen erreicht er die Stromschnellen und steigert nun sein Gefälle fort und fort, um bei den Wasserfällen selbst über eine 55 m hohe Wand hinabzustürzen. Von da an schießt das Wasser, statt wie bisher auf dem Plateau, in einer engen Schlucht mit senkrechten Wänden dahin, die erst dort ihr Ende erreicht, wo die Hochebene gegen den Ontario zu in schroffen Felswänden abbricht. Abb. 196 veranschaulicht diese Verhältnisse in schematischer Weise. Das ganze Hochplateau wird aus fast horizontalen, silurischen Schichten aufgebaut; zu unterst liegen weiche Schiefer, Mergel und Sandsteine, darüber harter, fester Kalkstein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung legt die Annahme nahe, daß der Niagara einst in einem flachen Tale über die ganze Hochebene floß und sich erst, wo diese endigt, also bei Queenstown, über die Felswände direkt in die Ontarioebene stürzte. Daß es nicht bei diesem Zustand blieb, ist ein Werk der unablässig *rückwärts fortschreitenden* Erosion. Noch heute läßt sich beobachten, wie die Fluten am Fuß der Fälle in den weichen Schiefern und Mergeln große Höhlungen auswühlen, wie dadurch der überlagernde Kalkstein unterminiert wird und stückweise herunterbricht, so daß die Fälle langsam stromaufwärts rücken, dabei aber immer nahezu senkrecht bleiben. Der plötzliche Absturz mächtiger Felsblöcke soll bisweilen die ganze Umgebung wie ein Erdbeben erschüttern. Der jährliche Rückgang beträgt für den kanadischen, den sogenannten Hufeisenfall nach neueren Messungen etwa $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ m im Jahre. Daraus könnte man berechnen, daß der Niagara zur Aushöhlung der 12 km langen Schlucht von Queenstown bis zum gegenwärtigen Fallort rund 8000 Jahre gebraucht habe. Indessen weichen die Fälle schwerlich immer mit der gleichen Geschwindigkeit zurück.

Genauere Forschungen haben auch Beweise dafür geliefert, daß der Fluß einst wirklich bis Queenstown über die Hochebene strömte. Das alte Flußbett lag nicht überall genau über der heutigen Erosionsschlucht, sondern bewegte sich zuweilen seitlich, in später verlassenen Windungen. Man findet in diesem alten Stromlauf Gerölle von derselben Beschaffenheit, wie sie der Niagara noch heute mit sich führt, und Muscheln, die den noch jetzt im Flusse lebenden Arten entsprechen. Es ist somit unzweifelhaft, daß der Strom einst hier oben lief.

Als die Fälle noch bei Queenstown lagen, müssen sie ungefähr die doppelte Höhe gehabt haben als zu unserer Zeit. Seitdem sind sie immer niedriger geworden, je weiter sie gegen den Eriesee zurückwanderten. Da sich diese Bewegung unaufhaltsam fortsetzt, so müßten die Fälle nach einigen weiteren Jahrtausenden so unansehnlich werden, daß sich ein Besuch kaum noch lohnte, und schließlich würde nur noch eine Reihe kleiner Kaskaden und Stromschnellen, gleich hinter dem Ausfluß aus dem Eriesee, übrigbleiben. Vielleicht aber tritt dieser Endzustand gar nicht ein, droht doch dem Niagara ein viel früheres Ende infolge der ungleichmäßigen Hebung jener Landgebiete! Wir haben die merkwürdigen Aussichten, die sich hier bieten, unter anderem die völlige Austrocknung des Niagarastroms, auf Seite 204 besprochen.

Bislang war ausschließlich von solcher Erosion (Korrosion) die Rede, die *vertiefend* auf das Flußbett wirkt, mag dies nun in senkrechter Richtung nach unten oder schräg rückwärts geschehen. Aber auch *vorwärts und nach beiden Seiten* hin sind die erodierenden Kräfte tätig. Überall, wo strömendes Wasser auf ein Hindernis trifft, wird es sich einen Weg hindurchzubahnen suchen, dabei aber in der Regel nur Erfolg haben, wenn das Hindernis aus lockeren Massen, aus Erde, Sand, Felsschutt, vulkanischer Asche usw., besteht. Daß ein Fluß durch hartes Gestein sich einen Weg erzwänge, etwa ein ganzes entgegenstehendes Gebirge nur mit Hilfe seiner nach vorn gerichteten Stoßkraft durchbräche, ist völlig undenkbar, und wo es der Fall zu sein scheint, wie z. B. beim Durchbruch des Rheins durch das Schiefergebirge von Bingen bis Koblenz, da haben sich in Wirklichkeit viel verwickeltere Vorgänge abgespielt. Wohl aber kann bei Hochwasser ein Fluß niedrige, seinen Lauf beengende Bodenschwellen aus lockerem Material hinwegräumen und dadurch unter Umständen seinem Lauf eine völlig neue Richtung geben. Der verhängnisvollen Durchbrüche des Gelben Flusses in China wurde schon oben gedacht, in kleinem Maßstabe hat sich Ähnliches öfters auch in deutschen Stromgebieten ereignet. Bei *Sargans im Oberrheintal* ist eine Stelle, wo eine nur ganz unbedeutende

Erhöhung des Schwemmlandes dem Rhein plötzlich seinen gegen den Walensee gerichteten Lauf verlegt und ihn zwingt, im rechten Winkel abzubiegen und nordwärts nach dem Bodensee abzufließen. So niedrig ist diese „Wasserscheide", daß früher die ernste Gefahr bestand, es möchte der Strom bei starkem Hochwasser sie einmal durchnagen und seine Fluten durch das Seeztal in den Walen- und weiter in den Zürichsee ergießen, eine Katastrophe, die zweifellos zahlreichen Ortschaften den Untergang bringen müßte. In Erkenntnis dieser Gefahr hat man an der kritischen Stelle dem Strom ein geradliniges Bett gegeben und einen starken Damm gezogen, dessen obere Kante die Höhe jener unzuverlässigen Wasserscheide um einiges überragt.

Im ganzen aber ist die vorwärts gerichtete Erosion von viel geringerer Bedeutung als die seitliche. Diese gestaltet die von der Tiefenerosion ausgegrabene Klamm oder Schlucht zum breiten Tale um. Im Lauf der Entwicklung verflacht sich das Gefälle mehr und mehr: aus dem Wasserfall wird zuerst eine Kaskadenreihe, dann eine Stromschnelle, endlich nach vielen Jahrtausenden eine Flußstrecke von mäßigem Gefälle. Ist dieser Zustand eingetreten, so hört die Korrosion auf, vertiefend zu wirken; der Grund des Flußbetts hat sich mit dicken Lagen von schwerem Geröll bedeckt, das nur bei Hochwasser ins Rollen kommt, für gewöhnlich aber unbewegt lagert und das Bett vor weiterer Ausnagung schützt. Dann richtet sich die Hauptkraft des Wasserstoßes sowie der Korrosion gegen die Uferwände, die an zahlreichen Stellen unterhöhlt werden und einstürzen, wodurch sie einen ganz unregelmäßigen, vielfach aus- und einspringenden Verlauf bekommen. Je weicher und lockerer das Material

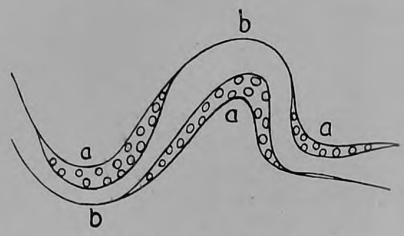


Abb. 197. Schematisches Bild einer Flußwindung. a Flachufer mit Anschwemmungen, b Bruchufer.

der Wände ist, um so leichter wird es dem Wasser, halbkreisförmige Stücke herauszuschneiden und den Flußlauf in zahlreiche Serpentinen zu zerlegen, eine Erscheinung, die man seit alter Zeit als Mäanderbildung bezeichnet.

Es kommt auf diese Weise zu einem Gegensatz zwischen Bruch- und Flachufern. Bei

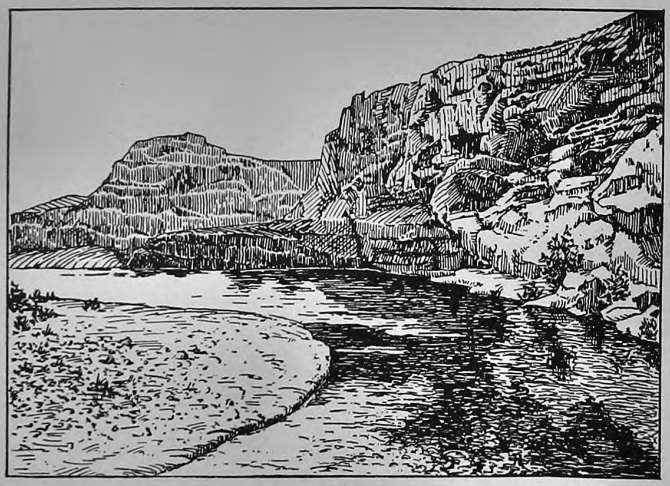


Abb. 198. Bruch- und Flachufer der Ardèche bei Vallon.

Krümmungen des Flußlaufes rückt die Linie der größten Geschwindigkeit des Wassers, der sogenannte Stromstrich, aus der Mitte gegen das hohle (konkave) Ufer vor, wo daher auch die zerstörende Wirkung am größten ist. Umgekehrt nimmt in der Nähe des vorspringenden (konveren) Ufers die Stromgeschwindigkeit dermaßen ab, daß es hier zur Ablagerung der

mitgeführten Geröll- und Sandmassen kommt. Diese Vorgänge lassen sich an jedem nichtregulierten Flußlauf mit Leichtigkeit beobachten. Abb. 197 stellt sie schematisch dar, Abb. 198 führt dem Leser eine sehr charakteristische Naturaufnahme vor. Wenn der Absatz der Kies- und Schlammschichten jahrhundertelang ungestört fortdauert, wird der Fluß immer mehr nach der entgegengesetzten Seite gedrängt, und das Flachufer verwandelt sich in eine breite Aue, die sich zuerst mit niedrigem Strauch- und Buschwerk bekleidet, aus dem dann mit der Zeit ein stattlicher Auwald emporwächst.

lang als halbmondförmige Seen erhalten bleiben, bis eine abermalige Überschwemmung wieder alles umgestaltet. Reich an solchen verwilderten Stromstrecken war früher die oberrheinische Tiefebene, erst die ausgedehnten Flußregulierungen der neuesten Zeit haben an Stelle des unabhängigen, die Schiffahrt sehr störenden Wechsels einen mehr bleibenden Zustand geschaffen (Abb. 199).

Ein Fluß kann auch dadurch aus seiner Bahn gelenkt werden, daß ein Nebenfluß plötzlich massenhaftes Geröll in das Hauptbett schiebt, wie sich dies im Gebirge nach starken Gewittern

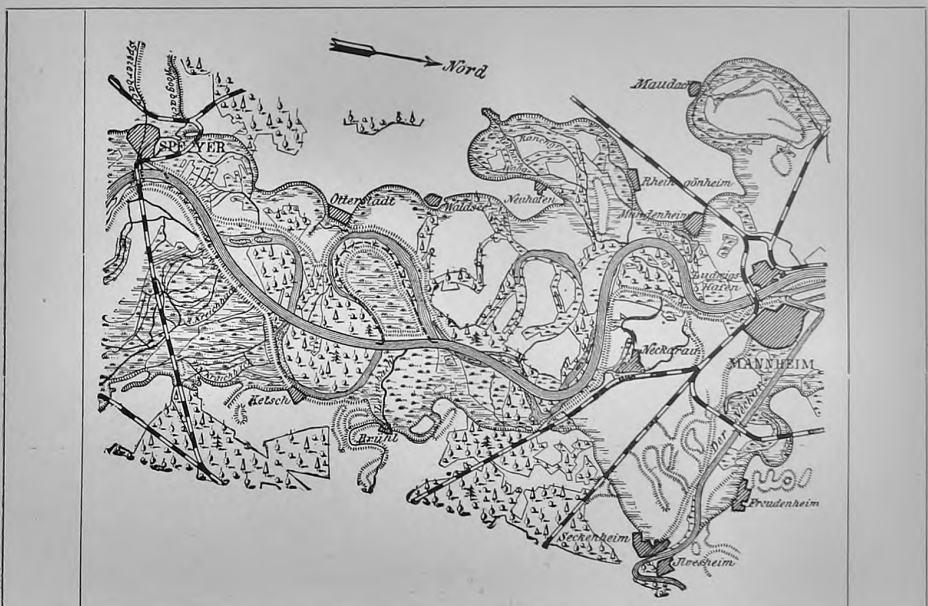


Abb. 199. Die Regulierung des verwilderten Rheinlaufs zwischen Speier und Mannheim mit den Serpentinen des früheren Laufs.

Wo die Mäanderbildung großen Umfang gewinnt, spricht man von einem „verwilderten" Stromlauf. Besonders auf Strecken von geringem Gefälle bedingt jeder Wechsel von Hoch- und Niederwasser immer neue Veränderungen. Bei sinkendem Wasser ändert sich der Stromstrich, die bewegten Sand- und Geröllmassen kommen zur Ruhe, und der Fluß windet sich zwischen ihren Anhäufungen (Sandbänken) in oft wunderlichen Serpentinen hin. Jedes neue Hochwasser aber schafft wieder ein anderes Bild, ja die angeschwollenen Fluten schneiden manchmal einzelne Krümmungen durch ein neues geradliniges Flußbett vollständig ab und machen die Bogen zu „toten" Gewässern, die eine Zeit-

und Wolkenbrüchen häufig ereignet. Solche plötzlich hervorbrechenden Schlamm- und Schuttströme bezeichnet man als Murbrüche (Abb. 200); sie überschütten gelegentlich den ganzen Talboden meterhoch mit Sand- und Steinblöcken und entziehen ihn für Jahrzehnte der wirtschaftlichen Ausnützung. Die herabgeschwemmten Massen bilden einen fächerartig ins Haupttal vorgeschobenen Schuttkegel, der den Fluß ganz nach der gegenüberliegenden Talwand drängt, ja in besonders schweren Fällen ihm den Weg vollständig verlegt, so daß die Gewässer sich zu einem See aufstauen. Von den zahlreichen hierher gehörenden Katastrophen, die gewisse Täler des Alpengebietes besonders häufig heimsuchen,

nennen wir die Zerstörung des Dorfes Kollmann an der Brennerbahn oberhalb Bozen. In der Nacht vom 17. auf den 18. August 1891 brachte der Kaserbach eine gewaltige, vorwiegend aus Porphyrschutt bestehende Mure herab, die 16 Häuser des Dorfes zerstörte, den Bahndamm fortriß und den Eisack zum See staute. 39 Menschen kamen dabei ums Leben. Sehr gefährdet ist seit jeher auch der Markt Windisch-Matrei am Fuß des Groß-Venedigers: unmittelbar auf dem Schuttkegel des Bürgerbaches erbaut, hat er unter den oft wiederholten Murbrüchen und den Überschwemmungen des zurückgestauten Tauernbaches so gelitten, daß man ernstlich den Plan erwogen hat, den Ort seinem Schicksal zu überlassen und die Einwohnerschaft anderswo anzusiedeln. Dieser Plan ist aber bis heute nur teilweise ausgeführt worden.

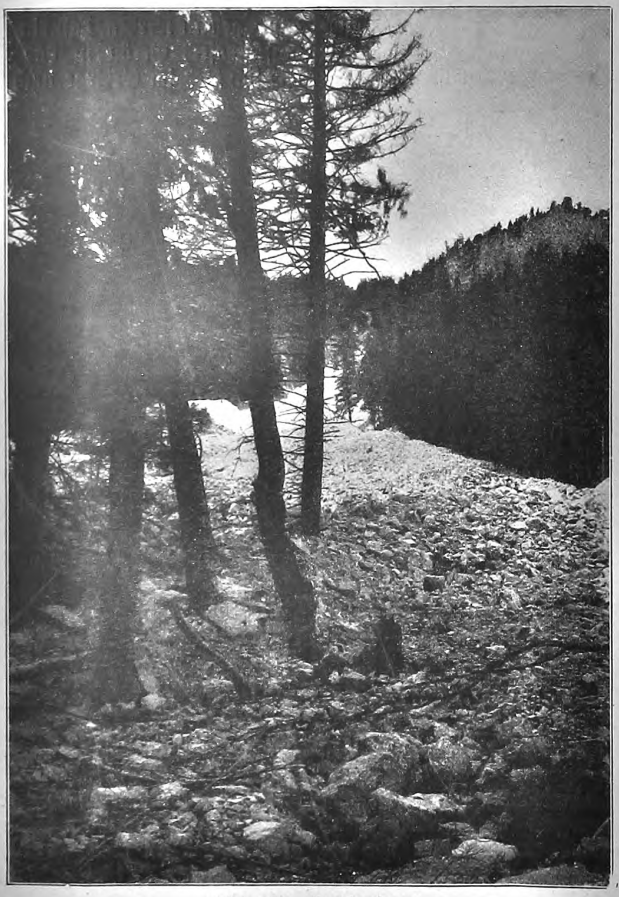


Abb. 200. Ein Murbruch.

Bei zahlreichen Flüssen beobachtet man, daß auf weite Strecken das eine Ufer viel stärker erodiert ist als das andere. Die Ursache liegt oft in der Verschiedenheit des geologischen Baues: wenn die eine Uferwand aus weicheren, zerstörbareren Schichten besteht, so wird naturgemäß das Flußbett sich allmählich immer mehr nach dieser Seite verschieben. Auch vorherrschende Winde (in unseren Gegenden die Westwinde) können den Wasserstrom andauernd gegen das eine Ufer treiben. Eine auffällige Erscheinung aber zeigt sich bei den meisten von Süden gegen Norden fließenden Strömen Nordeuropas und Nordasiens. Hier ist das rechte Ufer auf lange Strecken steil und hoch, das linke niedrig und flach — in Rußland unterscheidet man sie als „Berg- und Wiesenufer" —, ohne daß dieser stark ausgeprägte Gegensatz im geologischen Bau

des Tals begründet wäre. Man hat zur Erklärung an eine Ablenkung der Flüsse durch die Erdumdrehung gedacht. Alle sich horizontal bewegenden Massen, also auch fließendes Wasser, werden auf der nördlichen Halbkugel

Abb. 201. Hakenwerfen der Schichten.

nach rechts, auf der südlichen nach links von ihrem ursprünglichen Laufe abgelenkt (Baersches Gesetz). Die Flüsse der nördlichen Hemi-

Soviel über die Seitenerosion der fließenden Gewässer. Bei der Ausweitung der Täler spielen

Abb. 202. Sandsteinfelsen mit kleinen, reihenförmig angeordneten Verwitterungshöhlen.

aber auch noch andere Kräfte mit, vor allem die Verwitterung und Lockerung der Gesteine durch die Atmosphärilien.

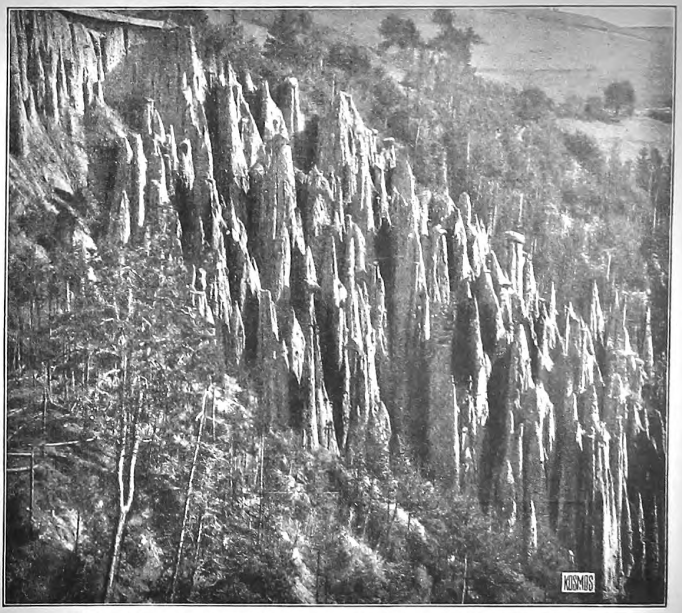


Abb. 203. Erdpyramiden an einem Steilhang des Ritten bei Bozen.

sphäre müssen also gegen ihr rechtes, östliches Ufer andrängen und dieses schärfer ausnagen als das linke. Eine merkliche Wirkung ist allerdings nur bei einem breiten Wasserspiegel möglich.

Spaltenfrost und Sonnenhitze, einsickerndes Regen- und Schneewasser, auch die in den Fels dringenden Pflanzenwurzeln arbeiten unablässig an der Zerstörung der Talwände. Was gelockert ist, rutscht nur zum kleinen Teil durch eigenes

Gewicht hinab, die Hauptmasse wird von Regengüssen, Lawinen und vom Schmelzwasser in die Tiefe geschwemmt, leichtes Material auch wohl vom Wind fortgeblasen. Alle diese Massen fallen entweder direkt ins Wasser, das sie rasch weitertransportiert, oder häufen sich am Fuß der Steilgehänge zu Schutthalden an. Aber auch hier bleiben sie nur zeitweilig lagern; denn solche Trümmerhalden sind unter dem

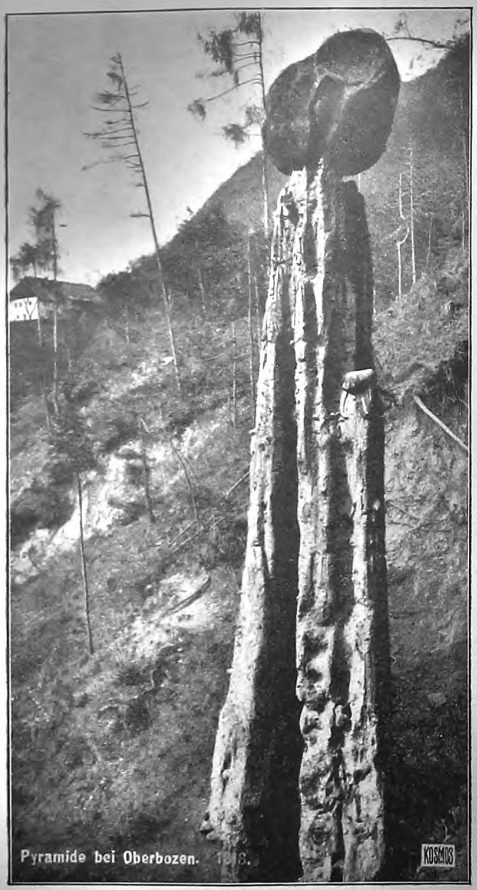


Abb. 204. Erdpyramide mit Deckstein bei Oberbozen.

Einfluß des Regenwassers und der Schwerkraft in beständigem, langsamem Rutschen begriffen, ganz abgesehen von gelegentlichen Katastrophen wie den Murbrüchen, die mit einem Mal ungeheure Massen aufgespeicherten Gebirgschuttes talabwärts führen. Das Ergebnis der geschilderten Vorgänge ist neben dem Zurückweichen der Talwände eine Abflachung der Böschungen: aus der steilwandigen Schlucht wird ein breites Tal mit sanft geneigten Abhängen, doch gibt es, wie wir später sehen werden, Ausnahmen, in denen trotz der Verbreiterung das Tal von fast senkrechten Wänden umschlossen bleibt.

Eine Rutschwirkung am Gehänge ist auch das sogenannte Hakenwerfen der Schichten (Abb. 201). Wo steil aufgerichtete Schichtgesteine einen Abhang bilden, beobachtet man häufig, daß die ausgehenden Enden hakenförmig nach abwärts umgebogen und schließlich in Schweife loser Bruchstücke ausgezogen sind. Durch wiederholtes Frieren und Auftauen sind die obersten Gesteinlagen so gelockert, daß sie, dem Zuge der Schwerkraft folgend, sich abwärts krümmen. Die wahre Schichtenstellung kann auf diese Weise ganz verschleiert werden.

Zu den Erosionswirkungen des fließenden Wassers gehören auch all die mannigfachen Verwitterungsformen, die der unmittelbare Auffall der atmosphärischen Niederschläge an den Gesteinen hervorbringt. Manches, was hierher gehört, die Felstürme der Granite, die Karrenfelder der Kalkgebirge, die pittoresken Felsformen der Dolomiten, haben wir schon in den vorhergehenden Kapiteln kennen gelernt. Leicht lassen sich die Beispiele noch um eine beträchtliche Zahl vermehren. So modelliert das Regenwasser die Oberfläche von Sandsteinfelsen oft in der eigenartigsten Weise. Die Wände sind von einer Unzahl großer und kleiner Zellen durchbohrt, wodurch sie ein zerfressenes oder wunderlich krauses Aussehen bekommen, wie z. B. der „gepudelte" Felsen bei Weißig in der Sächsischen Schweiz. An anderen Stellen sieht man auffallend regelmäßige, halbkugelförmige Vertiefungen, die gern in wagerechten Reihen angeordnet sind (Abb. 202). Auf der horizontalen Oberfläche der Felsen kann auf solche Weise ein Bild entstehen, das geradezu an ein Karrenfeld erinnert. Im einzelnen ist jedoch noch unsicher, wie weit sich der Wind an der Ausgestaltung solcher Felsformen beteiligt hat. Wir kommen darauf später zurück.

Die sonderbarsten aller Verwitterungsformen sind wohl die Erdpyramiden (Abb. 203 und 204): schlanke, nach oben verjüngte Säulen, die aus Lehm, Gletscherschutt oder einem anderen lockeren Stoff bestehen und auf ihrer Spitze einen größeren Stein wie eine Kappe balancieren. Besonders schön sind sie auf dem Ritten oberhalb Bozen, in der Schlucht des Finsterbachs entwickelt. Ein ganzes Heer dieser seltsamen „Lehm-

türme", wie das Volk sie nennt, ist an den Abhängen der Schlucht aufmarschiert: kleine, erst im Werden begriffene, und große, die 30 und mehr Meter Höhe erreichen, alle, mit ganz wenig Ausnahmen, bedeckt von dem krönenden Felsblock, dem, wie der Beobachter sofort merkt, irgendeine wichtige Rolle bei der Entstehung zufällt. Ähnliche Gebilde finden sich auch an vielen anderen Punkten des Alpengebiets, obschon selten zu so ansehnlichen Kolonien vereinigt. Nicht immer sind es schlanke Pyramiden oder Spitztürme, auch plumpe, niedrige Formen kommen vor, die wie riesige, grob gemeißelte Pilze aussehen. In den französischen Alpen kennt man sie unter dem Namen „dames", „nonnes" oder „cheminées des fées". Die Durchforschung fremder Erdteile hat uns über die weite Verbreitung der Erdpyramiden vollends aufgeklärt. Vielleicht am großartigsten auf der Welt ist die Erscheinung in Kappadozien entfaltet. Hier sind es aus vulkanischem Tuff ausgewaschene Kegel, zum Teil von so bedeutender Größe, daß die Bevölkerung jener Gegend in ihrem Innern höhlenartige Wohnungen anlegen konnte.

Die Entstehung dieser merkwürdigen Verwitterungsformen ist ziemlich leicht zu erklären. Sie gehen durch Erosion des fallenden und abfließenden Regenwassers aus einer ursprünglich gleichmäßigen Schuttdecke hervor, in der zahlreiche größere Steinblöcke eingebettet liegen. In den Alpen ist es gewöhnlich alter, der Eiszeit entstammender Moränenschutt mit großen Geröllen, in Kappadozien und anderwärts lockerer, mit Lavablöcken gespickter Tuff. Jeder Block wirkt wie ein Schirm gegen den aufschlagenden Regen, so daß nur das umliegende Erdreich, nicht aber die senkrecht unter dem Deckstein befindliche Masse fortgespült werden kann. So zerfällt schließlich das ganze Schuttlager in eine Anzahl freistehender Säulen, die ihr schützendes Dach noch auf dem Haupt tragen.

Eine den Erdpyramiden vergleichbare Bildung ist der seltsame „Büßerschnee" der südamerikanischen Anden, auf den ich bei Besprechung der Gletscher zurückkomme.

Zweites Kapitel. Die Erosion der Meeresbrandung.

Die landzerstörende Tätigkeit des Meeres ist vorwiegend auf die Gewalt der Brandungswoge zurückzuführen, die eigentlichen Meeresströmungen beteiligen sich an der Abtragung der Küsten nur in verschwindend geringem Maße. Vor allem muß man sich vor der Vorstellung hüten, auf dem Grunde der tiefen Meere könnten etwa Strömungen ähnliche Täler Schluchten auch am Boden der heutigen Ozeane finden, was bekanntlich nicht der Fall ist. Der Leser weiß aus früheren Auseinandersetzungen, daß die Gliederung des Meeresgrundes ganz unverhältnismäßig einfacher ist als die des festen Landes, auf ungeheuer weiten Gebieten fehlt jeder Wechsel der Bodenformen, jeglicher Unterschied von Berg und Tal. Wenn auch das Was-

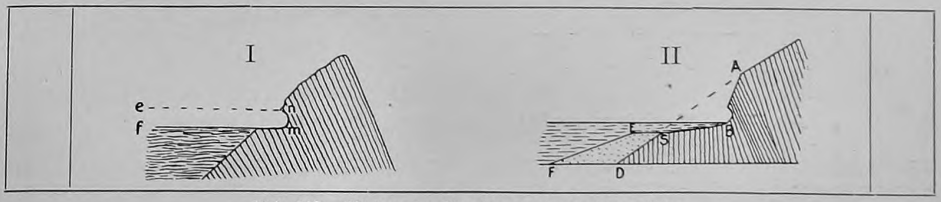


Abb. 205. Wirkung der Brandung auf eine felsige Küste.
I. Anfangsstadium, Bildung der Hohlkehle n m. II. Reifes Stadium: SB Strandterrasse, AB Kliff, EF DS neugebildete Strandablagerung.

und Rinnen ausfurchen wie die Flüsse auf dem Festlande. Wohl haben ältere Geologen geglaubt, daß gewisse tief eingerissene Täler, deren Bildung auf andere Art schwer zu erklären war, zu einer Zeit entstanden wären, als die betreffenden Gebiete noch vom Meer bedeckt waren, und daß Strömungen die Hauptarbeit der Erosion geleistet hätten, aber dann müßten sich ähnliche ser am Grunde der Tiefsee nicht völlig stagniert, befindet es sich doch in so ungemein langsamer Bewegung, daß von irgendwelcher Erosionswirkung keine Rede sein kann. Der Meeresboden ist die Stätte unausgesetzter Ablagerung und Sedimentation, wodurch mit der Zeit selbst die von unterseeischen Vulkanausbrüchen hervorgerufenen Unebenheiten ausgeglichen und zugedeckt werden.

Wohl aber kommt das Wechselspiel von Ebbe und Flut der Brandung kräftig zu Hilfe. Betrachten wir zunächst die Wirkung der anprallenden Wellen auf eine steile, felsige Küste, so wird hier, wie Abb. 205 I schematisch andeutet, das Meer zwischen seinem Flutstande e n und seinem Ebbestande f m eine Art Hohlkehle herausarbeiten, die stets im gleichen Niveau wagerecht längs der ganzen Küste verläuft. Mit der Zeit stürzt die mehr und mehr unterhöhlte Felswand in die Tiefe, — die Gesteintrümmer werden von den Wogen zerkleinert, abgerundet und eine Weile auf der sich bildenden Strandterrasse hin und her gewälzt; es kommt auf den besonderen Fall an, ob sie schließlich ganz fortgewaschen und ins Meer hinausgeführt oder von der zurückkehrenden Flut aufs neue wie Geschosse gegen die felsige Böschung geschleudert werden. Im letzteren Fall muß die Zerstörung der Küste weit rascher vonstatten gehen, Unterminierung und Einsturz wiederholen sich in verhältnismäßig kurzen Zwischenräumen, die Brandungslinie rückt landeinwärts, und es entsteht, wie Abb. 205 II zeigt, eine breite, flach ansteigende Plattform, die Strandterrasse, überragt von einer steilen, oft senkrechten Böschung, dem Kliff. Die Kreidefelsen Rügens, Südenglands und einiger dänischer Inseln, vor allem aber die mauergleich ins Meer abfallenden Küsten der Normandie zeigen diesen Küstentypus in vorzüglicher Ausbildung.

Die Strandterrasse ist ein Werk der Brandung, sie ist also zur Flutzeit vollständig vom Meer bedeckt und liegt nur bei tiefer Ebbe zum Teil trocken (Abb. 206). Ausgenommen sind solche Küsten, die eine bedeutende kontinentale Strandverschiebung erlitten haben, hier bilden sich naturgemäß am Ende der älteren, trockengelegten Plattform ein neues steil abfallendes Kliff und darunter eine zweite, tiefer gelegene Terrasse.

Abb. 206. Kliff und Strandterrasse der Insel Wight bei Freshwater. (Nach Brückner.)

An den Abhängen des Kliffs tritt die zerstörende Macht des Meeres besonders augenfällig hervor. Unterstützt von ihren Verbündeten, den mannigfachen Kräften der atmosphärischen Verwitterung, ist die Brandung unablässig bemüht, dem Bild der Küste immer wieder neue Züge aufzuprägen. Bedeutende Felsmassen werden aus ihrem Zusammenhang

gerissen, von dem Küstengebirge losgetrennt und stehen nun eine Strecke weit vom Ufer, als kolossale Türme, als „Hörner" und „Nadeln" inmitten der schäumenden Brandung. In der Regel spielt sich dieser Vorgang so ab, daß die Wellen zunächst Höhlungen im Gestein herausarbeiten, die mit der Zeit, wenn die Felswand völlig durchgenagt ist, zu Toren und Fenstern werden. Abb. 207 zeigt uns besonders schöne Formen solcher Brandungstore, die jedoch nicht am Meer, sondern an der Steilküste eines großen Binnensees, des Lake of Killarney

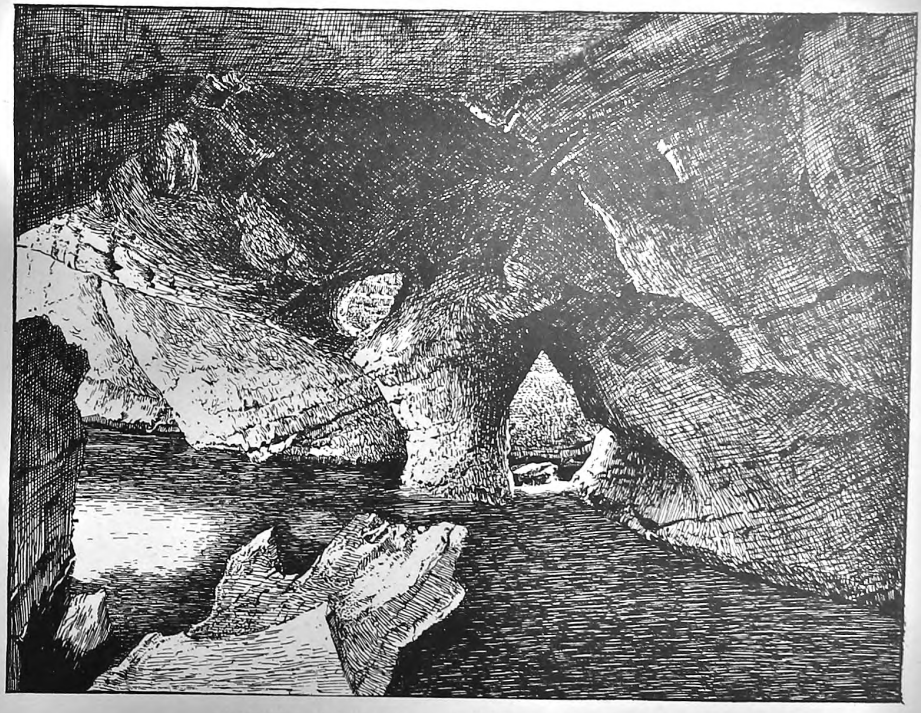


Abb. 207. Brandungstore und -Höhlen am Lake of Killarney.

in Irland, entstanden sind. Bisweilen gelingt es dem jahrtausendelang immer in der gleichen Richtung anstürmenden Wogenprall, ganze Vorgebirge nach Art von Tunnels zu durchbohren, namentlich wenn der Angriff von beiden Seiten zugleich erfolgt. Das bekannteste Beispiel ist wohl die Zeolithhöhle auf Naalsö (eine der Faröerinseln), wo die Bohrarbeit noch nicht vollendet, doch schon so weit gediehen ist, daß der am Ende der Höhle Stehende deutlich den Wogenanprall von der anderen Seite hinter der schmalen trennenden Wand vernimmt.

Auch auf Helgoland, wo sich alle Formen der Brandungserosion vorzüglich studieren lassen, kennt man solche Felsentore, „Gatte" in der Sprache der Insulaner. In älteren Werken findet man das Mörmersgatt häufig abgebildet, ein annähernd rechteckiges, im plattigen Stein ausgebrochenes Fenster, das lange Zeit eine Hauptsehenswürdigkeit des die Insel umgürtenden Klippenkranzes bildete, bis es im Jahr 1865 infolge der fortschreitenden Unterwaschung seiner Grundpfeiler zusammenstürzte. Häufig bleibt von solchen eingebrochenen Gewölben noch ein einzelner Tragbalken Jahrhunderte hindurch aufrecht stehen; diese einsamen Felspfeiler bezeichnet der Helgoländer mit dem Namen Stack.

Zwei Brandungstore von wunderbarer Pracht, die Manneporte und die Porte d'Aval, schmücken die Küste der Normandie in der Nähe des Städtchens Etretat. Die Manneporte (Abb. 208) besteht aus Kreidegesteinen und ist so weit und hoch, daß ein Dreimaster darunter durchsegeln könnte. Ihre Wände sind durch Einlagerungen dunkler Feuersteine zebraartig gestreift. Durch die Wölbung der Manneporte erblickt man fern im Hintergrunde einen

Felsobelisken, die 70 m hohe Aiguille d'Etretat, und ein zweites Brandungstor von Spitzbogenform, die Porte d'Aval. Zur Ebbezeit kann man zu Fuß von einem Tor zum anderen gelangen, ohne zur Höhe des Kliffs emporzusteigen, doch ist die Wanderung auf der von harten Geröllen bedeckten Strandterrasse ungemein beschwerlich und ermüdend.

Wie für die Ewigkeit gebildet, ragen diese stolzen Bauwerke aus dem schäumenden Meere empor, machtlos scheinen die Brandungswellen an den starken, massiven Pfeilern zu zerschellen, und doch sind es recht vergängliche Gebilde, deren Lebensdauer höchstens ein paar Jahrhunderte, oft nur wenige Jahrzehnte umfaßt.

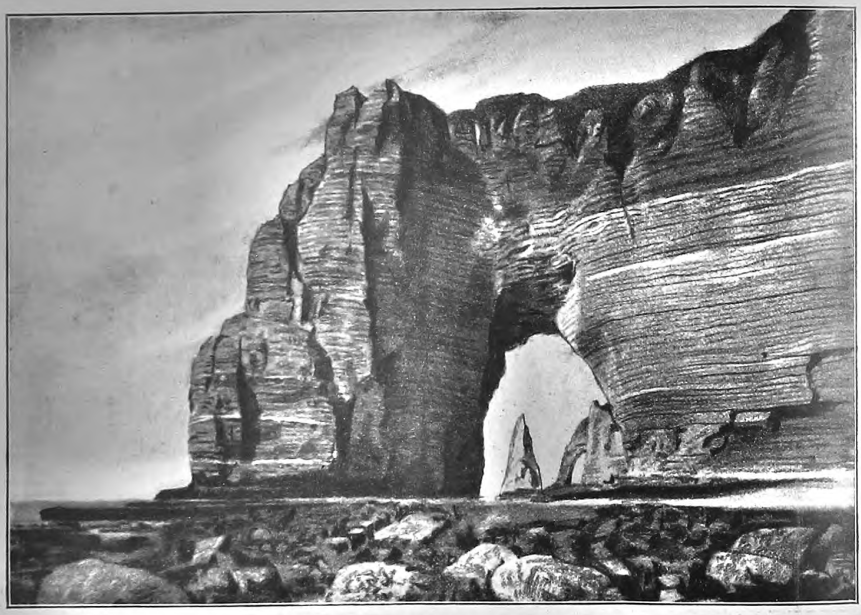


Abb. 208. Die Manneporte bei Etretat. Im Hintergrund die Aiguille d'Etretat und Porte d'Aval.

Der dem Meer zugewandte Pfeiler wird unterwaschen, die Wölbung bricht ein, und von dem prächtigen Denkmal bleibt nur ein Haufen roher Felsblöcke übrig, den die Wogen allmählich zerkleinern, abtragen und über die Strandterrasse ausbreiten.

Mitten in der Nordsee, den wilden Angriffen des Meeres schutzlos preisgegeben, liegt die Felseninsel Helgoland. Oft hört man die Ansicht äußern, was jetzt noch von der Insel stehe, die bekannte spitzdreieckige, von Nordwest nach Südost sich hinziehende Felsmasse (Abb. 209) sei nur der kümmerliche Rest einer früher viel umfangreicheren Insel, mit dem das Meer über kurz oder lang aufräumen würde. Häufig haben auch gelehrte Forscher Berechnungen angestellt, wieviel Zeit das Meer wohl noch gebrauchen würde, um das gesamte Eiland vom Spiegel der Nordsee hinwegzuwaschen, die Geschwindigkeit der Zerstörung ist aber dabei oft stark überschätzt worden. Karten aus dem 17. Jahrhundert, auf denen Helgoland viel größer dargestellt ist als gegenwärtig, verdienen nach neueren kritischen Untersuchungen kein Vertrauen; bestimmt weiß man nur, daß die vorgelagerte flache Sandinsel, die „Düne", bis Silvester 1720 durch einen Steinwall mit der Hauptinsel verbunden war, und daß am folgenden Neujahrstage eine gewaltige Sturmflut die beiden Teile auseinander riß.

Im übrigen weichen die Schätzungen des fortschreitenden Landverlustes bei den einzelnen Forschern stark voneinander ab. Während Joh. Walther glaubt, daß sich allerspätestens nach 12000 Jahren das Schicksal des Eilands erfüllt haben müsse, sehen andere eine viel längere Lebensdauer voraus. Wiebel berechnete, daß im Lauf eines ganzen Jahrhunderts das Meer einen nur 10 Fuß breiten Felsenstreifen zu zerstören vermag; rechnet man danach auf die Zeiten Adams von Bremen, Karls des Großen

und des Friesenkönigs Radbod zurück, so ist entschieden, daß damals die Insel um weniges größer war als jetzt. Wie der Münchner Geograph S. Günther hervorhebt, verleihen in der Gegenwart gerade die Riffe, die als Trümmer ehemaliger Felstürme und Gatte das Ufer umsäumen, der Insel einen gewissen Schutz; sie sind bis nahe dem Meeresspiegel abgespült, erleiden keine Veränderungen von Belang und erschweren der Brandung den Zugang zum aufragenden Kliff.

Überhaupt muß bei gleichbleibendem Meeresspiegel die Zerstörungskraft der Brandung an einer Steilküste im Lauf der Zeit immer schwächer werden und schließlich ganz erlöschen. Je breiter und flacher die Strandterrasse bei ihrer fortschreitenden Vergrößerung wird, um so lähmender wirkt sie auf die Brandungsarbeit der Wogen, deren lebendige Kraft sich bei der Länge des Wegs erschöpft. Die Wellen rollen über die Plattform weg, ohne Schaden anzurichten, und erreichen das anstehende Kliff nur noch bei Gelegenheit großer Sturmfluten; daher häufen sich am Fuß der Kliffwände dicke Schichten von Gesteintrümmern an, die eine sehr wirksame Schutzwehr des Ufers gegen weitere Angriffe des Meeres bilden.

Indessen läßt sich nicht leugnen, daß trotzdem die Insel Helgoland mehr und mehr abbröckelt, — Schuld daran trägt aber nicht die Brandung, sondern die gewöhnliche atmosphärische Verwitterung: Regen, Schneeschmelze, Spaltenfrost und Sonnenhitze, Kräfte, die überall tätig sind, wo steile Felsen aufragen, und auf Helgoland infolge des eigentümlichen geologischen Aufbaus eine besonders unheilvolle Wirksamkeit entfalten. Bei der hohen Bedeutung des Eilands als Seefestung wie als Stützpunkt der deutschen Kriegsflotte wird eine kurze Schilderung dieser Verhältnisse allgemeinem Interesse begegnen. Wir folgen dabei einer Darstellung A. Conzes.

Der Helgoländer Fels, das „Oberland", wird zum größten Teil aus weichem, rotem Schieferton aufgebaut, unter dem an der langgestreckten

Abb. 209. Das felsige Oberland der Insel Helgoland.

Südwestküste roter Sandstein zum Vorschein kommt. Diesem Sandstein sind dünne Bänke eines lockeren, leicht verwitternden, weißen Sandsteins eingelagert. Ihrem geologischen Alter nach gehören die Gesteine teils dem Zechstein, teils dem Buntsandstein an.

Die genannten Schichten liegen nun keineswegs wagerecht, sondern sind, wie Abb. 209 erkennen läßt, unter einem Winkel von etwa 20° gegen Nordost geneigt. Die Insel besitzt also ein natürliches, gegen Nordost gerichtetes Gefälle, was zur Folge hat, daß alles in den Boden einsickernde Regen- und Schneewasser langsam gegen die Nordostküste fließt, wo es längs der Schichtenfugen austritt und über die Felswände ins Meer hinabtropft. Dabei lösen sich die von der Verwitterung

gelockerten Blöcke und Steinchen von der Felswand ab und fallen ins Meer, wodurch sich zwar eine sehr langsame, aber ununterbrochene Abbröckelung der Küste vollzieht. Gelegentlich kommt es auch zu größeren Abbrüchen, so stürzte vor etwa zehn Jahren an der tiefst gelegenen Stelle des Oberlandes, an der Nordostecke, eine große Felspartie mit mehreren Häusern in die Tiefe, ohne daß irgendwelche Vorzeichen diese Katastrophe angekündigt hätten. Die Ursache liegt eben in dem oberflächlich unsichtbaren, aber rastlos arbeitenden, lockernden und drängenden Wasserdruck im Innern der Felsmasse. Nur eine mit peinlicher Sorgfalt ausgeführte Drainage, die alles einsickernde Wasser abfangen und in Kanälen dem Meere zuführen würde, könnte die Abbröckelung der Nordostküste, wenn auch nicht gänzlich verhindern, so doch außerordentlich verlangsamen und den Untergang der Insel auf lange, lange Zeit hinausschieben.

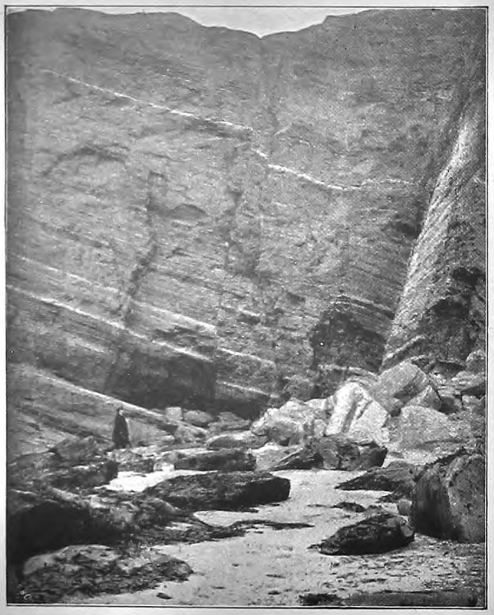


Abb. 210. Verwerfung an der Südwestküste von Helgoland.

Ganz anders liegen die Verhältnisse an der Südwestküste. Von hier fließen die einsickernden Tageswasser nach dem Innern der Insel ab, daher würde sich die Abbröckelung hier viel langsamer vollziehen als an der Nordostseite, wenn nicht die Südwestküste in viel höherem Grade unter den sturmgepeitschten Regengüssen zu leiden hätte. Vor allem greift der Regen die Ackerkrume an, von der jahraus, jahrein kleinere und größere Stücke abrutschen, aber auch auf das feste Felsgestein wirkt er in erschreckendem Maße zerstörend ein. An der Oberfläche bilden sich Risse, die zunächst sehr schmal sind und geringe Ausdehnung besitzen, aber vom Spaltenfrost mit unwiderstehlicher Gewalt erweitert und vertieft werden. Besonders leichte Arbeit haben die zerstörenden Kräfte dort, wo schon Störungen die Schichten durchsetzen, also der Zusammenhalt des Gesteins auf tektonischem Wege gelockert ist. Abb. 210 führt uns ein Beispiel vor Augen. Wie aus der Stellung der weißen Streifen hervorgeht, ist in der Mitte des Bildes eine ziemlich breite Felspartie ein Stück weit abgesunken. Derartige Schichtenstörungen oder, wie man in der geologischen Fachsprache sagt, „Verwerfungen" lassen sich an der steilen Südwestküste sehr häufig beobachten; auch die Brandung benützt diese schwachen Stellen als bequeme Angriffspunkte und höhlt in ihnen Nischen und Gewölbe aus.

Wo nun das einsickernde Regenwasser auf Verwerfungen trifft, erweitert es diese im Lauf der Zeit zu klaffenden, tief hinabreichenden Spalten, von denen an der Erdoberfläche oft nicht das geringste sichtbar ist. Liegen solche Spalten in der Nähe des Uferrandes, so lösen sich die zwischen ihnen befindlichen Felsmassen allmählich von der Insel ab; von unten her kommt das Meer der Verwitterung zu Hilfe, dringt zur Flutzeit in die fortgesetzt sich vertiefenden Klüfte ein und unterwäscht bedeutende Teile des Felsens. Schließlich verliert das Gestein auf der Seite und rückwärts jeglichen Halt und stürzt in die Tiefe. Dadurch ist der Uferrand ein Stück landeinwärts gerückt, und das verhängnisvolle Spiel beginnt von neuem.

Zur Rettung des bedrohten Eilands sind mancherlei zweckmäßige Vorschläge gemacht und zum Teil auch ausgeführt worden. Indessen verfehlen die bislang angelegten Schutzbauten insofern ihren Zweck, als sie fast ausschließlich gegen die Angriffe des Meeres gerichtet sind, während doch die Hauptgefahr, wie wir gesehen haben, von seiten der atmosphärischen Verwitterung und der einsickernden Tageswässer droht. Auf die Wichtigkeit einer sorgfältig angelegten Drainage und Kanalisation wurde schon oben hingewiesen. Um aber die Felswände vor dem Abbröckeln zu schützen, wäre nach Conzes Vorschlägen die gesamte Südwest- und Nordostkante der Insel

auf eine Breite von mindestens 5 m abzupflastern und zu vermauern. Ob man sich entschließen wird, diese recht umständlichen und kostspieligen Anlagen auszuführen, steht dahin; doch dürfte eine dauernde Erhaltung Helgolands auf anderem Wege kaum zu erreichen sein.

Dem naiven Beschauer pflegt die Zerlegung einer Steilküste in Kliff und Terrasse weniger aufzufallen als ihre oft überreiche und verwickelte Gliederung in flache bis halbkreisförmige Buchten, die durch Vorgebirge voneinander getrennt sind. Die Gestade der Riviera, zweifellos manchem Leser dieses Buches aus eigener Anschauung bekannt, sind in dieser Hinsicht vorbildlich; ihre hohe landschaftliche Schönheit verdanken sie in erster Linie der zierlichen, oft auf kleinem Raume (z. B. zwischen Nizza und Monaco) überraschend mannigfaltig ausgebildeten Gliederung in aus- und einspringende Küstenformen. Hier hat also die Brandungserosion sehr ungleichmäßig gewirkt, manche Uferstrecken haben offenbar starken Widerstand geleistet, während andere einer raschen Zerstörung anheimgefallen sind. Verschiedene Ursachen können dabei im Spiele sein. Im weichen Gestein arbeitet die Brandung schneller und leichter; wenn nun längs einer Küste z. B. Schichten harter Kalke mit weichen Tonschiefern oder lockeren Sandsteinen abwechseln, so wird das Meer in dem weichen Material Buchten aushöhlen, während die Kalkfelsen als Vorsprünge stehenbleiben. Im einzelnen läßt sich aber nicht immer nachweisen, daß die Buchten weichen und die Vorgebirge harten Küstenteilen entsprechen, auch Unterschiede der Lagerung üben einen bestimmenden Einfluß aus. So ist die Riviera der ins Meer tauchende Saum eines verwickelt aufgebauten Faltengebirges; schwache, zerrüttete Stellen im Gefüge, Brüche und Senkungsfelder mögen hier vielfach dem Meer günstige Angriffspunkte dargeboten haben.

Abb. 211. Küste zur Ebbezeit.
(Rochers de Port-Coton, Belle-Isle, Frankreich.)

Man glaube auch nicht, daß eine reiche Küstengliederung immer und überall das Werk des brandenden Meeres sei. Wir haben schon früher die norwegischen Fjorde besprochen, jene schmalen, weit in das Innere des Gebirges eingreifenden Meeresbuchten, und sie als ver-

senkte Täler gedeutet. Ähnliche Verhältnisse bestehen an der Küste von Dalmatien, wo das Meer in ein langsam untertauchendes Faltengebirge eingedrungen ist, dessen äußerste Ketten nunmehr als langgestreckte, der Küste parallele Inselreihen erscheinen, getrennt durch die ehemaligen, jetzt unter Wasser gesetzten Längstäler, die der Dalmatiner als „Kanäle" bezeichnet. Auch die Bai von San Franzisko mit dem berühmten Goldenen Tor ist ein überflutetes Längstal. Noch anderer Entstehung sind die Trichterbuchten oder Rias, auf die wir unten zurückkommen.

In den Buchten würde die Erosion bald zum Stillstand kommen, wenn nicht Strömungen das abgewaschene Material mit sich fortführten und dadurch eine beständige Säuberung des Meeresbodens bewirkten. Die lockeren Massen (Sand, Schlamm und kleines Steingeröll) wandern längs des Strandes hin und gelangen erst an ganz ruhigen Stellen, oft in bedeutender Entfernung von ihrem Ursprungsort, zum Absatz. So ist beispielsweise die ganze Ostküste der Insel Jasmund mit Feuersteinsplittern bedeckt, die gar nicht von der Insel stammen, sondern erst dorthin geschwemmt worden sind. Die Küsten der Gascogne erweitern sich fortgesetzt auf Kosten der felsigen Nordgestade Spaniens, deren abgewaschenen Schutt ihnen ein ostwärts gerichteter Flutstrom zuführt. Man bezeichnet diesen Transport der Strandgerölle als Küstenversetzung.

Wir haben oben gesehen, daß die Abrasion — diesen Namen (vom lateinischen abradere, abscheren) hat man der zerstörenden Wirkung der Brandungswoge zum Unterschied von der Erosion des fließenden Wassers gegeben — bei einer gewissen Breite der Strandterrasse zum Abschluß kommt. Dies gilt aber nur für stillstehende Küsten, während sich bei auf- oder absteigenden kein solcher Ruhezustand herausbilden kann, denn hier greift ja die Brandung immer wieder in einem anderen Niveau an. Fortdauerndes Sinken einer Steilküste führt, wie leicht einzusehen ist, nach und nach deren völlige Vernichtung herbei. Weil das Sinken wohl zumeist ruckweise erfolgt, so wird sich eine ganze Stufenleiter kleiner Strandterrassen herausbilden, von denen jede höhere später entstanden ist als die zunächst darunter liegende.

Abb. 212. Küste zur Zeit der Fluthöhe.
Die Klippen, von denen Abb. 211 einen Teil zeigt, wieder vom Wasser umspült.

Abb. 213. Wirkung der Abrasion auf ein langsam untersinkendes Gebirgsland.
t_1—t_5 nacheinander entstandene Strandterrassen, m_1—m_5 Höhe des Meeresspiegels zu verschiedenen Zeiten. AA Abrasionsfläche.

Abb. 213 veranschaulicht in schematischer Zeichnung die Wirkungen dieser unaufhörlich fortschreitenden Abrasion. Die älteren Terrassen sinken unter den Meeresspiegel und werden all-

mählich völlig abgehobelt, die Stufen verschwinden, und es entsteht eine gleichmäßige, schief aufsteigende Ebene (AA). Diese Abrasionsfläche wird in der Regel von den zerkleinerten Trümmern der zerstörten Küste bedeckt sein.

Wie schon öfters erwähnt wurde, treten an vielen Stellen der heutigen Erdoberfläche die flach abgeschnittenen „Köpfe" ganzer Schichtensysteme zutage, deren aufrechte Stellung und kräftige Faltung anzeigen, daß sie früher mächtige Gebirge gebildet haben müssen. Man hat den Eindruck, als habe eine gigantische Kraft mit einem Schnitt alles Überstehende beseitigt. Offenbar handelt es sich hier um alte Abrasionsflächen. Manche dieser abgehobelten Faltengebirge liegen heutzutage frei da, die lockeren Trümmerschichten, die sie ursprünglich bedeckten, sind längst durch Abtragung entfernt worden, — aber viele andere sind der Beobachtung schwer zugänglich, weil jüngere, flach liegende Meeresablagerungen sie fast überall verhüllen. Für solch ein uraltes, später wieder gehobenes und von der Flußerosion zerschnittenes Abrasionsplateau halten die meisten Geologen das Rheinische Schiefergebirge. Auch das belgische Steinkohlenrevier bei Namur und Lüttich ist ein von der Brandung glattgehobeltes Gebirgsland, das zur Steinkohlenzeit bis zu Höhen von 5—6000 m emporgeragt haben mag.

Gehen wir nun zum zweiten Fall, zu den langsam sich hebenden Steilküsten, über. Hier ist von irgendwie bedeutender Zerstörung des Landes keine Rede, nur wenn die aufsteigende Bewegung einmal pausiert, kann das Meer längs des Flutstandes eine Spur in den Felswänden ausnagen, und von der Zeitdauer hängt es ab, ob eine wirkliche Strandterrasse oder nur eine schmale Einkerbung, eine Wasserstandsmarke, gebildet wird. Bei mehrfachem Wechsel von Stillstand und Hebung entstehen so die in Parallelreihen übereinander angeordneten alten Strandlinien, die namentlich an der Küste Norwegens weithin zu verfolgen sind und einen vorzüglichen Beweis für das ruckweise Aufsteigen dieses Landes seit dem Schlusse der Eiszeit abgeben (vgl. S. 201).

Den Gegensatz zur Steilküste bildet die Flachküste. Man versteht darunter einen Strand, der sich ganz allmählich, an vielen Stellen fast unmerklich, unter das Wasser senkt. Dabei schiebt sich häufig zwischen den eigentlichen Strand und das Binnentiefland ein breiter Dünenwall ein, der aus großer Entfernung wohl einer Steilküste gleichen kann. In typischer Weise

Abb. 214. Küstenformation einer Hallig.

ist diese Küstenform an den Gestaden der Nordsee entwickelt. Ihre Natur bringt es mit sich, daß die verheerende Gewalt des Meeres sich nicht in so deutlichen Einzelheiten kundgibt, wie bei den steil aufragenden Kliffküsten. Wenn die Wellen an einer Flachküste branden, so überschlagen sie sich, bevor die eigentliche Uferlinie erreicht ist, weil sowohl die Reibung am Boden wie die vom Strand zurückflutenden Wassermassen die Wellenbewegung schwächen und verzögern. Die überschlagene Welle fließt dann horizontal über den seichten Grund, ohne irgendwelchen Schaden anzurichten.

Wenn trotzdem die zerstörende Tätigkeit der See auch an Flachküsten wie der Nordsee die schlimmsten Landverluste bewirken kann, so liegt dies an der saugenden Kraft der vom Ufer ins Meer zurückströmenden Wassermassen, die den aufgewühlten Sand und Schlamm mit sich fortreißen. Man bezeichnet diese Erscheinung als Widersee oder Sog, wie denn auch die

Bewohner des friesischen Strandes von einem „Saugen" der See sprechen. Die fortschreitende Verkleinerung der Friesischen Inseln (die sandige Küste von Wangeroog wich von 1836 bis 1853 in jedem Jahr um 26 m zurück), ebenso die Austiefung der Seegaten oder Fahrrinnen, welche die Watten und Sandbänke des flachen Meeres durchziehen, beides scheint in der Hauptsache das Werk des seewärts flutenden Ebbestromes zu sein. Wir lernen daraus, daß unter günstigen Umständen auch Meeresströmungen erodierend zu wirken vermögen, aber dies ist nur der Fall in engen und flachen Gewässern, zwischen Inseln und Halbinseln, in Buchten und Flußmündungen, dagegen niemals, wie schon eingangs erwähnt, auf dem Grunde der tieferen Meere.

Manche Buchten zeigen ausgesprochene Trichterform, d. h. sie fallen von dem am meisten landeinwärts gelegenen Punkte sanft und gleichmäßig unter den Meeresspiegel ab. Eine ähnliche Gestalt besitzen viele Flußmündungen. Man schreibt ihre Entstehung den Gezeiten zu, die oft ungeheure Wassermassen mit beträchtlicher Geschwindigkeit stromaufwärts treiben. Am stärksten ist die Wirkung, wenn der Flutstrom direkt gegen das Land oder die Flußmündung gerichtet ist. Dann werden die bogenförmigen, von der Brandung erodierten Buchten immer mehr im spitzen Winkel nach innen erweitert, wie man dies z. B. bei der Fundy-Bay an der Nordostküste Amerikas tatsächlich beobachtet. Die Flut wühlt den Strand auf, und die Ebbe schwemmt die abgelösten Massen ins Meer hinaus. Daher können sich in solchen Buchten keine Sedimente ablagern; den Grund der Fundy-Bay bildet überall nackter, von dem starken Gezeitenstrom reingefegter Felsboden.

Die Tier- und Pflanzenwelt Großbritanniens zeigt aufs deutlichste, daß die Insel noch in geologisch junger Zeit mit Westeuropa verbunden gewesen sein muß. Man verlegt die Abtrennung gewöhnlich ans Ende der Tertiärzeit. Wahrscheinlich bestand damals zwischen Dover und Calais eine wenn auch schmale Landbrücke, gegen die von beiden Seiten, vom Atlantischen Ozean wie von der Nordsee her, die Gezeitenströme in engen Trichterbuchten anstürmten. Schließlich wäre, so vermutet man, in der Mitte der Durchbruch erfolgt und dann im Lauf der Zeit die aufgerissene Meeresstraße allmählich zu ihrer heutigen Breite erweitert worden.

Sechster Abschnitt.

Die unterirdischen Gewässer.

Wir haben bislang das Wasser ausschließlich auf seinen oberirdischen Wegen beobachtet. Wir sahen, wie der wild herabstürzende Gebirgsbach sich tiefe Schluchten im festen, anstehenden Gestein ausgräbt, wie er, zum Fluß geworden, durch breite Täler dahinströmt, hier das Ufer abträgt, sein Bett verbreitert und vertieft, dort im Gegenteil durch Anschwemmung sich den Weg verbaut und dem Lande neuen Besitz zuführt. Auch die Bedeutung des Regens lernten wir kennen, jene außerordentlich langsame, für den einzelnen Menschen unmerkliche Abspülung der obersten Bodenschichten, die das Ziel verfolgt, durch Abtragung der Berge und Ausfüllung der Täler alle Höhenunterschiede auf der Erde auszugleichen.

In manchen Lehrbüchern wird jedoch diese nivellierende Tätigkeit des Wassers zu sehr betont. Wenn dort als Hauptaufgabe des Wassers bezeichnet wird, daß es die von den vulkanischen und tektonischen Kräften geschaffenen Höhenunterschiede ausgleiche und den „ursprünglichen" Zustand der Erdoberfläche wiederherstelle, so ist das entschieden eine zu weit gehende Auffassung. Das fließende Wasser, vom kleinsten Regengerinne bis zum breiten Fluß, wirkt in vielen Fällen keineswegs nivellierend, sondern vergrößert durch seine erodierende Arbeit die Gegensätze von Berg und Tal, ja es modelt bisweilen erst Höhenzüge aus vollkommen flachem Gelände heraus. Die Abtragung erniedrigt die Gipfel, aber die Erosion vertieft die Täler, und welche von beiden Kräften überwiegt, d. h., ob das Endergebnis ein Erosionsgebirge oder ein Flachland ist, das hängt von zahlreichen Bedingungen ab und läßt sich im Einzelfall durchaus nicht voraussagen.

Das Bild ändert sich, wenn wir uns den Wirkungen des brandenden Meeres zuwenden. Die anprallenden Wellen nagen zwar auch aus der Felsküste die merkwürdigsten, mannigfaltigsten Formen heraus, aber ihre Werke sind von kurzem Bestande, die Brandung selbst zerstört wieder, was sie geschaffen hat. Wo sich nun die Küste im Zustande allmählicher Senkung befindet, greift das Meer immer weiter landeinwärts, und es entsteht, wie wir oben gesehen haben, eine Abrasionsfläche. Von der Brandung kann man also mit besserem Recht als vom fließenden Wasser behaupten, daß sie nivellierend wirkt. Wo wir in der Gegenwart alte Gebirgsrümpfe finden, deren Oberfläche zu einem gleichmäßigen Plateau abgeschliffen ist, dürfen wir in den meisten Fällen diese Ausgleichung von Berg und Tal mit Recht der Abrasion zuschreiben.

In diesem Zusammenhang von einem „ursprünglichen Zustand der Erdoberfläche" zu sprechen, ist sehr bedenklich. Wenn man sich auf den Boden der Kant-Laplaceschen Theorie stellt, so gab es zweifellos schon auf der ältesten Erstarrungskruste Berge und Niederungen; wir haben diese Frage am Schluß des ersten Abschnitts ausführlich behandelt. Ausgedehnte Flachländer sind nichts Ursprüngliches; sie gehen im Lauf gewaltig langer Zeiträume aus vielgestaltigen Bodenformen hervor und bedeuten auch keinen endgültigen Zustand: fließendes Wasser, Gletscher, vulkanische Durchbrüche oder tektonische Krustenbewegungen prägen über kurz oder lang den einförmigen Flächen neue, wechselvolle Züge auf.

Alles in allem übt das Wasser an der Erdoberfläche eine staunenswert vielseitige und wichtige Tätigkeit aus. Wie aber verhält es sich in der Tiefe? Sollte nicht auch dort das so ungemein lebendige und aktive Element eine bedeutungsvolle Wirksamkeit entfalten, die von uns nur deshalb weniger beachtet wird, weil sie sich fast ganz im verborgenen vollzieht? Versuchen wir es, in Gedanken dem Wasser auf seinen seltsam verschlungenen Wegen im Erdinnern zu folgen und seiner geheimnisvollen Arbeit nachzuspüren, — eine Fülle wertvoller Kenntnisse wird uns lohnen, und viele geologische Erscheinungen, an sich schwer verständlich, werden uns in ganz neuem Lichte entgegentreten.

Erstes Kapitel. Das Grundwasser.

Überall stößt man, wenn man tief genug in die Erde eindringt, auf Wasser, nur in den Polargegenden ist der Boden bis zu Tiefen von 100 und mehr Meter ständig gefroren (Eisboden, auch Steineis genannt). Um das Grundwasser zu erreichen, muß man in manchen Gegenden recht tief bohren, während es in anderen so dicht unter der Oberfläche anzutreffen ist, daß es in Zeiten hohen Wasserstandes sich recht unliebsam bemerklich macht, in die Keller dringt, die Abflußkanäle staut usw. Keinem Landstrich aber fehlt es gänzlich an Grundwasser, selbst in den Sandwüsten sind wenigstens stellenweise bedeutende unterirdische Wasserläufe vorhanden. Die Sahara besaß früher, als das dortige Klima noch feuchter war, oberirdische Flüsse, wie die alten Flußablagerungen in den Tälern lehren, jetzt findet sich fließendes Wasser in Tiefen von 50 m an. Brunnenbohrungen liefern dort überraschend günstige Ergebnisse, viele Oasen danken ihre Existenz den künstlich an die Oberfläche geleiteten unterirdischen Quellenadern.

Von hoher Bedeutung ist die Erschließung des unterirdischen Wassernetzes für Deutsch-Südwestafrika. Leider scheint hier das Grundwasser im allgemeinen ein so tiefes Niveau einzunehmen, daß nur ungemein kostspielige Anlagen dem Lande die erwünschte Bewässerung bringen könnten.

Wie geht es nun zu, daß sich unter der Erdoberfläche Wasser ansammelt? Unzweifelhaft stammt bei weitem die größte Menge dieses Wassers von oben, von den atmosphärischen Niederschlägen, her. Was an Regen, Schnee, Nebel und Tau auf den Boden niederfällt, verdunstet zum Teil unmittelbar und mengt sich wieder der Lufthülle bei; ein anderer, sehr bedeutender Teil fließt oberirdisch ab, dem nächsten Gewässer zu, ein dritter endlich sickert in den Boden ein. Wie groß dessen Menge ist, hängt von der Durchlässigkeit der obersten Bodenschicht ab. Sand- und Kieselboden verschluckt in der Regel sehr viel Wasser, während tonige und lehmige Böden nur wenig durchlassen. An vielen Orten besitzt die obere, lockere Schicht eine sehr geringe Dicke oder fehlt auch gänzlich, dann kommt es auf die Durchlässigkeit der anstehenden Felsart an. Gesteine sind im allgemeinen um so undurchlässiger, je mehr Ton sie enthalten. Während gewöhnliche Sand- und Kalksteine dem Sickerwasser leicht den Durchgang gestatten, ist bei ihren tonreichen Spielarten (Mergeln, Tonsandsteinen usw.) das Gegenteil der Fall. Fast undurchlässig für Wasser sind die reinen Tone und Tonschiefer; in Gegenden, wo sie auf weite Strecken zutage treten, ist die Überschwemmungsgefahr besonders groß (vgl. weiter unten).

Überall, wo Pflanzen wachsen, geht ein Teil des einsickernden Wassers dadurch verloren, daß es von den Wurzeln aufgesogen und in die Blätter der Pflanzen geleitet wird, an deren Oberfläche es dann wieder verdunstet. Das übrige Wasser steigt auf zahllosen Wegen, auf feinen Klüften, Haarrissen, Schichtfugen usw. zu immer tieferen Schichten hinab, bis es auf eine undurchlässige Felslage stößt, über der es sich ansammelt. Eine solche Felsschicht wird selten vollkommen wagerecht liegen, sondern in der Regel ein (wenn auch schwaches) Gefälle besitzen. In der Richtung dieses Gefälles fließt das Grundwasser weiter, immer über der undurchlässigen Schicht hin, wobei es alle Mulden und sonstigen Vertiefungen seeartig ausfüllt. Schließlich findet der unterirdische Strom durch eine Kluft seinen Weg zu größerer Tiefe oder er tritt, wenn die Felsschicht an einem Talgehänge „ausstreicht", als Quelle an der Erdoberfläche hervor. Abb. 215 veranschaulicht die Wanderungen eines Grundwasserstroms in schematischer Weise.

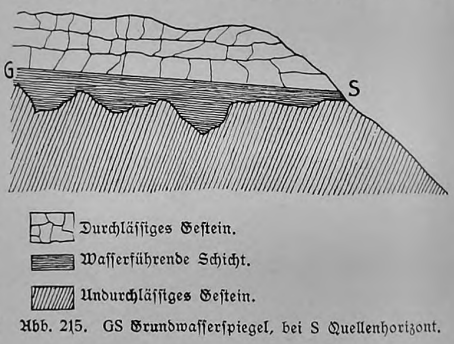


Abb. 215. GS Grundwasserspiegel, bei S Quellenhorizont.

Um ein Mißverständnis zu vermeiden, sei bemerkt, daß man sich die „Grundwasserströme" ja nicht nach Art der oberirdischen Flüsse vorstellen darf. Es sind — mit gewissen Ausnahmen, auf die ich später zu sprechen komme — keine freien, in unterirdischen Kanälen dahinfließenden Wasserläufe, sondern verwickelte Systeme unzähliger feiner Klüfte, Risse und Fugen, durch die sich das Wasser mühsam, oft

tropfenweise, seinen Weg suchen muß. Um dieses unterirdische Labyrinth zu passieren, brauchen natürlich die Grundwasserströme sehr viel Zeit, mit anderen Worten: sie fließen trotz des oft starken Gefälles außerordentlich langsam. Wenn also heftige Regengüsse oder rasche Schneeschmelze die Zuflüsse des Grundwassers vermehren, so dauert es stunden- oder auch tagelang, bis diese Wirkung in einem verstärkten Ausfluß der Quellen sich geltend macht.

Oben wurde bemerkt, daß der bei weitem größte Teil des Grundwassers vom einsickernden Regen- und Schneewasser herrührt. Viele unterirdische Adern werden ganz ausschließlich davon gespeist, aber bei anderen kommt es auch vor, daß sie von einem benachbarten Bach, Fluß oder See Zufluß bekommen. Dies tritt namentlich bei Hochwasser ein, während umgekehrt in trockenen Zeiten mehr Grundwasser dem Flusse zuströmt. Hat man doch auch viele Beispiele, daß ganze Bäche, ja selbst größere Flüsse zeitweilig von der Erdoberfläche verschwinden und eine Strecke weit unterirdisch fließen, also gleichsam selbst zum Grundwasserstrom werden, um als starke Quellen, manchmal in weiter Entfernung von der Versickerungsstelle, wieder hervorzubrechen. Eins der interessantesten Beispiele dieser Art, die Versickerung der Donau und ihr Wiedererscheinen als Aachquelle, wird uns später beschäftigen.

Ein anderer sehr wichtiger Quell der unterirdischen Wasserläufe ist das Magma. Der Leser weiß, daß bei vulkanischen Ausbrüchen ungeheure Mengen Wasserdampf in die Luft geblasen werden, daß die Lavaströme bei ihrer lang andauernden Erkaltung ohne Unterlaß Dämpfe abgeben und auch sonst in vulkanischen Gegenden gasförmiges Wasser aus Spalten und anderen Vertiefungen hervordringt. Alle diese Dampfmassen mengen sich der Atmosphäre bei und können das Grundwasser erst speisen, wenn sie, zu Regen verdichtet, auf die Erde zurückgefallen sind. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß ein Teil des dem Magma entweichenden Wassers schon in tieferen Erdschichten in den flüssigen Zustand übergeht und sich mit dem von oben eingesickerten Grundwasser vermischt. Auf diese Weise kommt die Mehrzahl der warmen Quellen (Thermen) zustande.

Dem berühmten Wiener Geologen Eduard Sueß verdankt die Wissenschaft eine klare Scheidung der hier geltenden Begriffe. Sueß nannte alles Wasser vados (soviel wie „im Umlauf befindlich"), das schon einmal als Dampf in der Lufthülle enthalten war und dann in fester oder flüssiger Form auf die Erde niederfiel, also die gesamte Wassermenge der Ozeane, Binnenseen, Flüsse und Bäche, ferner die Wolken und Niederschläge, soweit sie nicht direkt von vulkanischen Ausbrüchen herrühren, endlich das gesamte eingesickerte Grundwasser. Juvenil, d. h. jugendlich, heißen dagegen die Wassermassen, die sich erst vor kurzem aus dem Magma befreit haben und nunmehr, sei es in Dampfform aus den Schloten der Vulkane oder aus Fumarolen (S. 84), sei es in Form heißer Quellen, zum ersten Mal an die Erdoberfläche gelangen. „Den vadosen Wassermengen der Erdoberfläche gesellen sich auf diesem Wege neue Mengen zu, die jetzt erst und vor unseren Augen an das Tageslicht gelangen, und die als juvenile Wasser zu bezeichnen sind. Alles vadose Wasser ist einmal juveniles gewesen; ist es aber vados, so kann es selbstverständlicherweise nicht mehr in den juvenilen Zustand zurückkehren."

Die Unterscheidung des juvenilen vom vadosen Wasser ist unter anderem von hoher Bedeutung für die Lehre von den Mineralquellen. In weitaus den meisten Gegenden, vorab in den nicht vulkanischen, ist zweifellos das gesamte Grundwasser vados. Wo sich aber Vulkane in der Nähe befinden, seien es auch längst erloschene, da besteht immer die Möglichkeit, daß auch Wasserläufe juvenilen Ursprungs in der Tiefe zirkulieren. Es fragt sich nun: Woran erkennt man die juvenilen Wasser? Die größere Wärme ist kein Merkmal; denn auch vadoses Grundwasser muß sich erhitzen, wenn es lange Zeit in tiefgelegenen Erdschichten zirkuliert, wo die innere Erdwärme sich schon stark geltend macht. Ein besseres Kennzeichen ist der Gehalt des Wassers an gewissen Salzen und Gasen, die unmöglich aus dem benachbarten Gestein ausgelaugt sein können (weil die betreffenden Stoffe darin gar nicht vorkommen), sondern aus der Tiefe stammen müssen. Viele Mineralquellen enthalten wichtige Bestandteile, deren Ursprung ganz rätselhaft bleibt, wenn man ihn nicht vom vulkanischen Magma herleitet. Als häufigster dieser Stoffe ist die Kohlensäure zu nennen, die fast überall das Produkt vulkanischer Aushauchung ist.

Es gibt in den ehemaligen vulkanischen Bezirken Deutschlands eine Menge kohlensäurehaltiger Quellen, genannt Säuerlinge oder Sauerbrunnen, die vielfach an Ort und Stelle abgefüllt und — mitunter durch Zusatz natürlicher Kohlensäure „verbessert" — als

Tafelwasser versandt werden. Trinken wir da nun juveniles oder vadoses Wasser? Die Kohlensäure, soweit sie nicht der chemischen Retorte entstammt, ist fast immer juvenil, aber vom Wasser läßt sich das nur in sehr seltenen Fällen beweisen. In der Tiefe gibt es fraglos oberhalb der vulkanischen Herde mächtige Erdschichten, die ganz von Kohlensäuregas erfüllt sind. Die Gasmassen steigen auf und gelangen schließlich in einen Horizont, durch den ein Grundwasserstrom seinen Lauf nimmt. Das Wasser saugt die Kohlensäure ein (was unter dem hohen Druck in der Tiefe leichter geschieht als an der Erdoberfläche) und setzt, mit dem Gas beladen, seinen Weg fort, um an einer geeigneten Stelle als schäumender Sprudel hervorzubrechen.

Auf diese Weise, durch Mischung vadosen Grundwassers mit juveniler Kohlensäure, dürften die meisten Säuerlinge zustande kommen. Auch sehr viele der eigentlichen Mineralquellen besitzen eine gemischte Natur: ihre Salze, also die physiologisch wirksamen Bestandteile, entstammen ganz oder teilweise dem vulkanischen Magma und sind, als sie sich in Dampfform auf dem Wege nach oben befanden, vom vadosen Grundwasser aufgenommen und gelöst worden. In ähnlicher Weise entstehen nach von Knebel die meisten heißen Quellen Islands: Grundwasser tritt in die von heißen Schwefeldämpfen durchwärmten Bodenschichten, verschluckt einen Teil der Gase und der von ihnen abgesetzten Salze und kommt als heiße Schwefelquelle irgendwo zum Vorschein. Von Knebel nennt darum die isländischen Thermen „ertrunkene Solfataren" (vgl. S. 84).

Es gibt indessen eine bedeutende Anzahl warmer Mineralquellen, deren Hauptwassermenge juvenil ist. Woran man dies erkennt, kann erst später auseinandergesetzt werden, wenn von der Chemie der Quellen die Rede ist. Einstweilen begnügen wir uns mit der Feststellung, daß in vulkanischen Gegenden das Grundwasser zum Teil aus dem erstarrenden Magma gespeist wird.

Die juvenilen Zuflüsse sind natürlich ganz unabhängig von den Schwankungen der atmosphärischen Niederschläge: ob viel oder wenig Regen fällt, ob Sommer oder Winter ist, übt auf die Stärke einer rein juvenilen Quelle nicht den geringsten Einfluß aus. Ganz anders beim vadosen Grundwasser, dessen Stand in hohem Grade von Witterung und Klima abhängig ist. Betragen doch in manchen Gegenden die Schwankungen des unterirdischen Wasserspiegels mehrere Meter. Man glaube aber nicht, daß überall der höchste Stand des Grundwassers mit der regenreichsten Jahreszeit zusammenfällt. In Deutschland (abgesehen von der Nordseeküste) bringt der Sommer die größten, der Winter die geringsten Regen-, bzw. Schneemengen. In München spiegelt sich dieser Gang der Niederschläge deutlich wider: das Grundwasser steht hier am höchsten im Sommer, am niedrigsten im Herbst und Winter; in Berlin aber beobachtet man den höchsten Stand im Frühling, dann geht während des Sommers der Grundwasserspiegel stark zurück, um im Herbst auf dem tiefsten Niveau anzukommen, worauf er im Lauf des Winters wieder beträchtlich anschwillt. Die Schwankungen sind in Berlin viel bedeutender als in München. Es kommt eben nicht auf die Regenmengen allein an, sondern noch manche andere klimatische Bedingungen, wie die Beschaffenheit des Bodens und der Pflanzendecke, das Maß der Verdunstung, der Stand der Flüsse und Seen, sind von erheblicher Wirkung auf die Bewegungen des Grundwassers.

Andauernder Regen bringt ganz verschiedene Wirkungen hervor, je nachdem er auf undurchlässigen oder durchlässigen Boden fällt. Weil im ersten Fall die Hauptmenge des niedergehenden Wassers oberirdisch abläuft, müssen sich im Lauf langer Zeiträume zwei stark voneinander abweichende Landschaftsformen herausbilden. Wir wollen diese beiden Möglichkeiten etwas näher betrachten, wobei wir uns auf Luegers ausgezeichnete Untersuchungen über diesen Gegenstand stützen.

In einem aus undurchlässigen, also tonreichen Gesteinen aufgebauten Gelände werden bei heftigen Regengüssen alle Wasserläufe sehr rasch anschwellen, zu tosenden Wildbächen werden, viel Erdreich und verwittertes Gestein ablösen und fortschwemmen. Sobald aber der Regen aufgehört hat, tritt das Wasser zurück, und der kurz vorher noch reißende Strom verwandelt sich wieder in ein kleines Rinnsal, das bei anhaltender Trockenheit oft gänzlich versiegt. Jedes Hochwasser bringt kleine Veränderungen im Relief der Landschaft hervor: hier wird eine Schlucht erweitert oder vertieft, dort gar eine neue eingerissen; bedeutende Mengen Schutt und Erde werden vom Gehänge abgelöst, und unter der fortgeschwemmten Decke tritt der nackte, anstehende Fels zutage. Die Überschwemmungen sind in solchen Gegenden außerordentlich verheerend, aber von kurzer Dauer.

Infolge der starken Abspülung nimmt

die Landschaft einen eigentümlichen Charakter an. Die herausgewaschenen Felsen zeigen sich als Vorsprünge oder Klippen an den Talflanken; die Bäche verlaufen in tief eingewühlten, nach beiden Seiten reich verzweigten Schluchten. Weil diese Verzweigungen ihre Entstehung ausschließlich dem Regen verdanken, sind sie für gewöhnlich wasserleer, und es finden sich auch keine Quellen an ihrem oberen Abschluß. Wegen des undurchlässigen Bodens ist eben die Bildung des Grundwassers sehr erschwert. Die oberste Erdschicht hält die vom Regen empfangene Feuchtigkeit lange Zeit fest, wodurch sie sehr fruchtbar wird, daher trifft man sowohl im Talgrund wie an den Abhängen den üppigsten Wiesenboden.

Auf durchlässigem Terrain (Sand- und Kieselboden, lockerer Sandstein, Kalkstein usw.) sickert dagegen ein großer Teil der Niederschläge rasch zu tiefen Schichten hinab. Das eingedrungene Wasser erfüllt zunächst alle Klüfte und Risse und tränkt sodann das feste Gestein bis zu dessen vollständiger Sättigung (sogenannte Bergfeuchtigkeit). Die überschüssige Wassermenge sucht sich Wege durch die Gesteinschichten und tritt an geeigneten Stellen in Form von Quellen wieder zutage. Der Abfluß an der Erdoberfläche ist selbst bei anhaltendem Regen gering; die Hochwasser werden daher hier weniger heftig auftreten, aber sich auch langsamer wieder verlieren, weil der Durchgang des Grundwassers durch die Gesteinschichten sehr viel Zeit beansprucht. Bis die unterirdischen Abflüsse an die Stellen gelangen, wo sie als Quellen wieder den Boden verlassen, vergehen häufig mehrere Tage; daher werden nach Aufhören der Regengüsse die Quellen noch einige Zeit in verstärktem Maße fortfließen und erst allmählich auf ihren gewöhnlichen Stand zurückkehren.

Im durchlässigen Boden gibt es keine tiefen Erosionsschluchten, auch entblößte Felsvorsprünge und Klippen sind selten. Wegen des reichlich vorhandenen Grundwassers versiegen die Bäche selbst bei anhaltender Trockenheit nicht. Die Täler bilden gleichsam die Entwässerungskanäle der Abhänge und Hochebenen, aus denen sie das eingesickerte Wasser absaugen, daher sind außer dem Hauptfluß oder -bach nur wenige Wasserläufe zu sehen. Die Täler sind breit und flach, Wiesen gedeihen nur im Grund, nicht an den Abhängen, wo der Regen viel zu rasch in die Tiefe sickert. Das gesamte Landschaftsbild ist also viel eintöniger und schmuckloser als im undurchlässigen Gelände. —

In quellenarmen Gegenden sind zum Zweck der Wasserversorgung oft Bohrungen nötig. Größere Mengen von Grundwasser lassen sich am leichtesten und sichersten im breiten, ebenen Talboden der heutigen Flußtäler gewinnen. In unzähligen Adern fließen die unterirdischen Wasser von den Gehängen der Talmitte zu, wo sie sich auf jeder Seite des Flusses zu einem breiten Grundwasserstrom vereinigen. Häufig begegnet man der Meinung, dieses Grundwasser rühre vom Flusse selbst her, aus dem es durch langsame Filtration in die benachbarten Erdschichten gelange; aber dies findet nur ausnahmsweise statt, in der Regel nimmt vielmehr der Fluß das von den Bergen zuströmende Grundwasser in sich auf. Ja, es gibt Täler ohne jeden oberirdischen Wasserlauf, die doch wenige Meter unter der Oberfläche von einem starken Grundwasserstrom durchflossen werden.

Eine eigentümliche Erscheinung in Norddeutschland wie auf der Schwäbischen und Bayrischen Hochebene sind die Trockentäler, auch „tote" Täler genannt. Auf schwach welligem Gelände wandernd, steht man plötzlich, ähnlich wie bei den Cañons des amerikanischen Westens, vor einem steil abfallenden, oft ansehnlich breiten Tal, das vollkommen den Anblick eines Erosionstales gewährt, aber keinen Wasserlauf besitzt, der die Erosion vollbracht haben könnte. Ein sehr typisches Beispiel ist der Teufelsgraben im bayrischen Alpenvorland, eine düstere, tannendurchwachsene Schlucht, die ganz unvermittelt auf etwa 20 km Länge in die diluvialen Schotter- und Nagelfluhgesteine der Münchener Hochebene eingerissen ist. Der Name Teufelsgraben deutet an, daß die einheimische Bevölkerung diese auffällige Talbildung auf irgendwelche dämonische Kräfte zurückführte, ähnlich wie die Norweger ein scharf ausgemeißeltes, ebenfalls wasserleeres Spaltental den „Riesenhieb" getauft haben. In der Nähe von München liegt noch eine zweite, heutzutage trockene Schlucht, das Gleisental.*) Auf der Schwäbischen Hochebene findet sich unter anderen toten Tälern das auf S. 240 abgebildete Brieltal, das sich in nichts von einem gewöhnlichen Erosionstal unterscheidet.

Man erklärt gewöhnlich die Trockentäler als Bildungen der Eiszeit. Als die ungeheuren Gletscherströme abschmolzen, reichten die

*) Die Bahn München-Holzkirchen quert beide Trockentäler, das Gleisental kurz hinter Station Deisenhofen, den Teufelsgraben zwischen Otterfing und Holzkirchen. Man hat von der Bahn für einen Augenblick prächtige Einblicke in die schön bewaldeten Schluchten.

vorhandenen Talfurchen zur Abfuhr der Schmelzwasser nicht aus, und die Gletscherflüsse waren vielfach genötigt, sich neue Betten zu schaffen. Der Teufelsgraben z. B. entwässerte einen kleinen Seitenzweig des alten Isargletschers (die Hauptabflüsse folgten dem heutigen Isar-, Würm- und Ampertal).

Als dann später das Eis aus dem Flachlande verschwand, verloren manche der neuen Talwege ihren Zusammenhang mit den Gebirgsflüssen; sie wurden außer Gebrauch gezehnten den Einfluß des Grundwassers auf die allgemeinen gesundheitlichen Verhältnisse. Bahnbrechend wirkten hier die Arbeiten des berühmten Hygienikers M. v. Pettenkofer, der als Ergebnis seiner umfassenden Beobachtungen folgenden Satz aufstellte: „Ein gleichmäßig hoher Grundwasserstand ist der Gesundheit förderlich, wogegen ein namhaftes Sinken eben dieses Niveaus, zumal dann, wenn auf kurzes Steigen eine ebenfalls energische und rasche Senkung folgt, mit dem Auf-

Abb. 216. Brieltal bei Allmendingen. Trockental auf der Schwäb. Alb. Phot. A. v. d. Trappen.

setzt und büßten ihren Wasserlauf ein. So kommt es, daß der Grund der Trockentäler zumeist von eiszeitlichen Schottern und Sanden erfüllt ist, während frische Flußablagerungen fehlen. Diese lockeren Massen gewähren dem Regen leichten Zutritt in die Tiefe, so daß sich in den meisten Fällen ein starker, talabwärts fließender Grundwasserstrom bilden kann. In Industriegebieten, wo die offenen Wasserläufe zumeist stark verunreinigt sind, ist die Existenz solcher unterirdischen Flüsse von großem hygienischen Werte. So bezieht z. B. Leipzig aus dem Grunde eines toten Tales sein Trinkwasser.

Eifrig studiert hat man in den letzten Jahrtreten verheerender Volkskrankheiten Hand in Hand zu gehen pflegt."

Dieser auf den ersten Blick rätselhaft scheinende Zusammenhang erklärt sich in sehr einfacher Weise. Das steigende Grundwasser durchfeuchtet den Boden bis zu den obersten Schichten und macht ihn für die Aufnahme und Entwicklung der Krankheitsbakterien weit geeigneter, als es sonst der Fall wäre. Stammt das Wasser von einem benachbarten, vielleicht schon infizierten Flusse, so können die Krankheitskeime direkt in den Untergrund der Stadt eingeschwemmt werden. Daher ist eine sorgsam durchgeführte Bodenentwässerung von ungemeiner

Wichtigkeit für bedrohte Städte. München, früher berüchtigt durch seine Typhusepidemien, ist eine der gesündesten Städte Europas geworden, seitdem durch zweckmäßige Kanalisation die jährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes sich beträchtlich vermindert haben. Bei der letzten großen Hamburger Choleraepidemie (1893) hat man beobachtet, daß jene Stadtviertel am schlimmsten verheert wurden, in deren Untergrund verseuchtes Wasser aus der Alster und anderen Wasserläufen eingedrungen war.

Zweites Kapitel. Die Entstehung der Quellen.

Eine der ältesten religiösen Empfindungen der Menschheit ist der Glaube an wohltätige Quellen- und Brunnengeister. Wir finden ihn bei ganz primitiven Naturvölkern, wie bei den hochkultivierten Nationen des Altertums (vgl. die liebliche Ode des Horaz über die Quelle Bandusia, Od. III, 13), ja er hat sich in abgeschwächter Form bei der ländlichen Bevölkerung vieler Gegenden Europas bis auf den heutigen Tag erhalten. Besondere Verehrung genossen von jeher, wie leicht zu verstehen, die Heilquellen, deren günstige Wirkungen man nicht den natürlichen Eigenschaften des Wassers, sondern einem unbekannten, rätselhaften Etwas, dem Brunnengeist, zuschrieb. Wer Heilung finden wollte, mußte zunächst dieses göttliche Wesen gnädig stimmen, und so herrschte denn die Sitte, daß die Kranken kleine Wertgegenstände, silberne Münzen, Nadeln, Ringe usw., in die Quellen warfen. Bei der Neufassung mancher Mineralquellen, z. B. des Brodelbrunnens in Pyrmont, der schon zur Römerzeit bekannt und besucht war, hat man eine stattliche Anzahl solcher Quellopfer ausgegraben.

Wenn nun auch in unseren kultivierten Badeorten dieser Brauch nicht mehr geübt wird, so lassen sich doch in vielen abseits vom Weltverkehr gelegenen Gegenden Europas noch Reste des Quellenkultus nachweisen. Im Vogtland mußte bis vor wenigen Jahrzehnten (vielleicht stellenweise noch heute) jede Wöchnerin, die zum erstenmal Wasser holen ging, den Brunnen „versilbern", d. h. eine Silbermünze hineinwerfen, damit das Wasser nicht ausbleibe. Bei Rennes in der Bretagne gibt es eine Quelle, deren Wasser angeblich vom Fieber heilt. Die Kranken begeben sich nüchtern und, ohne ein Wort zu sprechen, hin, werfen einige Centimes ins Wasser und trinken. Ebenfalls in der Bretagne liegt ein Brunnen, über dem sich eine Bildsäule der heiligen Jungfrau erhebt, genannt Notre Dame de la Clarté. Das abergläubische Volk wirft Nadeln in den Brunnen, in der Meinung, dadurch gesunde Augen zu bekommen. Bei den Südslawen muß jede Neuvermählte dem Dorfbrunnen ihre Verehrung bezeigen. In Kroatien wirft sie unter mancherlei Zeremonien einen mit Kreuzern gespickten Apfel in den Brunnen. In Bulgarien geht sie dreimal um den Quell, dabei fortwährend Hirse auf den Boden schüttend. Zum Schluß verbeugt sie sich nach allen vier Weltgegenden und speit ein im Mund getragenes Geldstück ins Wasser. Weitere Beispiele aus allen Ländern ließen sich in großer Zahl beibringen.

Solange die Völker in jedem Wasserlauf ein göttliches Wesen erblicken, das, erhaben über die mechanischen Kräfte, mit Verstand und freiem Willen begabt ist, werden sie auch die Entstehung der Quellen in sagenhafter Weise erklären. Manche Quellen sind durch Zauberspruch von den Göttern hervorgerufen, andere von mythischen Tieren aus dem Boden gescharrt oder gekratzt worden (eine in Deutschland sehr verbreitete Volkssage), noch andere sind verwandelte Menschen oder Dämonen niederer Art, die zur Strafe für ein Vergehen derart verzaubert wurden. Im alten Griechenland war zwar die Quellenverehrung ein Teil der offiziellen Religion, aber die Gebildeten machten sich schon früh über derlei Aberglauben lustig und bemühten sich, viele Naturerscheinungen, in denen das gemeine Volk ein geheimnisvolles Wirken überirdischer Mächte sah, auf vernunftgemäße Art zu deuten. Daß viele ihrer Erklärungsversuche verfehlt waren und der besseren Erkenntnis späterer Zeiten nicht standhielten, tut dem Verdienst jener alten Naturforscher keinen Eintrag. Sie beobachteten, wie die Gebirge ihres Landes von Höhlen mannigfacher Art, von Klüften und Spalten ganz und gar durchsetzt sind, wie sich Wasser in diesen unterirdischen Räumen ansammelt, wie Bäche und Flüsse hier und da im Kalkboden verschwinden und an einer tiefer gelegenen Stelle mit mächtigem Strahl wieder hervorbrechen. Auch die felsige Meeresküste ist von Höhlen und Spalten zerfressen, in die das Seewasser ungehinderten Einlaß findet. Auf diese Beobachtungen gründeten die Alten eine Quellenlehre, die sich als sogenannte Schwamm-

theorie bis ins 18. Jahrhundert hinein einer fast uneingeschränkten Geltung erfreute.

Nach dieser Auffassung hängen alle Meere des Erdballs unter sich und mit den Flüssen, Binnenseen usw. durch ein verwickeltes unterirdisches Kanalnetz zusammen, dem auch die Aufgabe zufällt, die Quellen zu speisen. Der Erdball gleicht also einem mit Wasser vollgesogenen Schwamm, aus dessen Poren die Quellen hervorsprudeln. Dem naheliegenden Einwand, es müßten ja dann alle Binnengewässer salzig sein, begegnete man mit der Annahme, daß das Meerwasser beim Filtrieren durch die Poren und Haarspalten der Gesteine seinen Salzgehalt einbüße.

Die hervorragendsten Gelehrten des Altertums und Mittelalters, Aristoteles, Seneca, Dante, Albertus Magnus, Leonardo da Vinci, B. Varenius und viele andere, standen ganz ausschließlich auf dem Standpunkt der Schwammtheorie. Man glaubte, das Wasser ströme in ununterbrochenem Kreislauf vom Meer durch die unterirdischen Klüfte den Flüssen zu und kehre durch diese zum Meere zurück. Wie das Blut im menschlichen Körper zirkuliere, so durchflute das Wasser in tausend und aber tausend Kanälen das Innere des Erdkörpers.

Die moderne Quellenlehre, deren Grundzüge wir schon im vorhergehenden Kapitel kennen lernten, geht auf die berühmten Physiker Mariotte und Delaméthérie zurück. Die Hauptmasse des Quellwassers ist eingesickertes Regen- und Schneewasser, das durch Zufall den Weg zur Oberfläche zurückfindet. Aber fällt denn wirklich genug Regen, um alle die zahllosen Quellen zu speisen? Hierüber hat Murray folgende Berechnung angestellt: Die im Lauf eines Jahres niederfallende Regenmenge beträgt durchschnittlich rund 122500 cbkm. Um uns von dieser gewaltigen Wassermasse einen Begriff zu verschaffen, wollen wir uns denken, sie sei gleichmäßig über die gesamte Oberfläche der Festländer (etwa 145000000 qkm) verteilt, dann würde alles Land von einer 84 cm hohen Wasserschicht bedeckt sein. Wenn auch nur ein Teil des Regenwassers wirklich einsickert — das meiste läuft ja oberirdisch ab oder verdunstet — so genügt doch dessen Menge zweifellos, um die Quellen in Tätigkeit zu erhalten.

Freilich so durchaus unrecht haben die alten Griechen nicht gehabt. In den Karstgebieten, zu denen auch ihr Heimatland gehört, gibt es tatsächlich Seen, die durch unterirdische Kanäle mit dem Meere in Verbindung stehen. In der Regel fließt das Seewasser ins Meer ab, aber bei niedrigem Wasserstande kann das Gegenteil eintreten und der See vom Meere gespeist werden. Auf die ungemein interessanten Wasserverhältnisse des Karstgebirges komme ich im letzten Kapitel dieses Abschnittes zurück.

Der Einfluß der atmosphärischen Niederschläge auf die Wassermenge der Quellen und Brunnen ist allgemein bekannt; bei anhaltendem Regen oder Tauwetter fließen sie stärker als in trockenen Zeiten. Alte Chroniken berichten, daß in den Jahren 658, 1000 (zur Zeit des erwarteten Weltunterganges) und 1132 fast sämtliche Quellen vor Trockenheit versiegten, daß 1303 und 1304 Loire, Rhein und Donau ausblieben. Ein sehr trockenes Jahr war auch 1566, wo es in Italien sechs Monate nicht geregnet haben soll, so daß selbst die großen Flüsse austrockneten und in Illyrien der Wein fast wohlfeiler als Wasser war. Nicht nur die gewöhnlichen Brunnen, auch Solquellen und Säuerlinge sind von der Witterung abhängig. In dem Trockenjahr 1842 versiegten manche Sauerbrunnen des Neckartales, z. B. der von Niedernau. Die Teinacher Säuerlinge, die Cannstatter Bohrquellen, die Salzsäuerlinge von Franzensbad, die Thermen von Baden im Aargau und zahllose andere Mineralquellen sind bei anhaltend nassem Wetter ergiebiger als bei trockenem, ein Beweis, daß sie entweder ganz vados sind oder wenigstens starke vadose Zuflüsse erhalten.

Als Beispiel vom Gegenteil werden die heißen Mineralquellen von Vichy genannt, deren Wassermenge sich angeblich auch dann nicht im geringsten vermindert, wenn alle anderen Brunnen der Gegend vertrocknen. Mag dies auch übertrieben sein, so sind die Schwankungen doch jedenfalls äußerst gering, woraus zu schließen ist, daß die Thermen von Vichy ihren Ursprung in der feurig-flüssigen Zone des Erdinnern haben, mit anderen Worten, daß sie juveniles Wasser an die Erdoberfläche befördern.

Als eigentliche Nährgebiete und Sammelplätze der Quelladern haben die bewaldeten Gebirge zu gelten. Von dem auf freiem Felde niederfallenden Regen sickert nur wenig ein; was nicht oberirdisch abläuft, verdunstet zum größten Teil. Der kühle, schattige Waldboden hält dagegen das Wasser fest und führt es allmählich den unterirdischen Quellsträngen zu. Ist doch nach Ebermayer die Verdunstung in einem Walde, dessen Boden mit abgefallenen

Blättern, Nadeln usw. bedeckt ist, um 84% geringer als auf baumlosem Terrain! Daher kann die oft gemachte Beobachtung nicht überraschen, daß nach Abholzung eines größeren Waldbestandes die benachbarten Quellen stark zurückgehen oder gar völlig austrocknen. Nach erfolgter Wiederaufforstung kommen bisweilen die Quellen in alter Stärke zurück, bisweilen auch nicht, weil die früheren Verbindungswege sich inzwischen geschlossen haben. In den Alpen und der Provence, im Apennin und griechischen Gebirge hat die schonungslose Ausrottung der Wälder zu einer völligen Vertrocknung des Bodens geführt.

„Man kann sich" — erzählt Blanqué, wo er über die Folgen der Entwaldung in der Provence spricht — „in unseren gemäßigten Breiten keinen richtigen Begriff von diesen brennenden Bergschluchten machen, wo es nicht einmal einen Busch mehr gibt, um einen Vogel zu schützen, wo alle Quellen versiegt sind und ein düsteres, kaum von dem Gesumme der Insekten unterbrochenes Schweigen herrscht. Auf einmal, wenn ein Gewitter losbricht, wälzen sich in diese geborstenen Bassins von den Höhen der Berge Wassermassen herab, welche verwüsten, ohne zu begießen, überschwemmen, ohne zu erfrischen, und den Boden durch ihre vorübergehende Erscheinung nur noch öder machen, als er durch ihr Ausbleiben war."

Von den gewaltigen Mengen der in den oberen Erdschichten einlaufenden Sickerwasser verschafft man sich leicht einen Begriff durch den Besuch einer im durchlässigen Gestein gelegenen Höhle oder eines Bergwerks. In allen Tropfsteinhöhlen träufelt Wasser von der Decke herab auf den Boden und erzeugt bei seiner langsamen Verdunstung jene prächtigen, halb durchsichtigen Kalkgebilde (Säulen, Orgeln, Tapeten usw.), deren Bildung Jahrhunderte oder gar Jahrtausende in Anspruch nimmt (vgl. Abb. 159). Nach anhaltenden, starken Regengüssen oder nach der Schneeschmelze im Frühjahr vermehrt sich das herabtropfende Wasser dermaßen, daß manche Höhlen nur in völlig wasserdichter Kleidung begangen werden können. Einen besonders harten Kampf führt der Bergmann mit dem von oben eindringenden wie mit dem von unten aufquellenden Wasser. In allen Bergwerken, die nicht von wasserdichten Gesteinschichten bedeckt sind, findet man die Schächte und Stollen von herabträufelndem Wasser benetzt, ausgenommen in großen Tiefen, wohin kein Sickerwasser mehr gelangt. Die gleiche Erfahrung hat man bei allen Tunnelbauten gemacht; in frischer Erinnerung stehen noch die gewaltigen Wassereinbrüche, die den Durchstich des Simplontunnels so erschwert und verzögert haben.

Mancherlei Gelegenheit findet das Grundwasser, um aus der Tiefe an die Erdoberfläche zu gelangen. Am leichtesten zu verstehen ist die Entstehung der Schichtquellen: Grundwasser fließt auf einer geneigten, undurchlässigen Schicht hin, bis es an einem Berghang den Ausweg ans Tageslicht findet (Abb. 215). In diesem allereinfachsten Falle gehorcht das Wasser lediglich seinem Drange, bergabwärts zu fließen, die Schwerkraft führt es zur Erdoberfläche zurück.

Wenn am Gebirgshang die Grenze zweier Formationen verläuft, von denen die obere zerklüftet und durchlässig, die untere undurchlässig ist, so werden an dieser Grenze zahlreiche Schichtquellen hervorbrechen. Überall wo im Schwarzwald und in den Vogesen Buntsandstein und Granit oder Gneis sich berühren, quillt und sprudelt das unterirdische Naß aus dem Boden hervor. Allgemein bekannt und bei mancher Bergtour höchst unliebsam empfunden ist der Quellenmangel im Kalkgebirge. Die triadischen Kalksteine unserer Alpen und anderer Gebirge sind so zerklüftet, daß sie gar kein Wasser festhalten. Sowie man aber in tonige Schichten gelangt, die den Kalk an vielen Stellen unterlagern, stellt sich sofort ein Überfluß an Wasser ein. Auch die Quellen der Wiener Hochquellenleitung entspringen an der Grenze von Kalkstein und tonigen Schiefern (Werfener Schichten). Die wasserdichte Unterlage kann die Gestalt einer Mulde besitzen, dann wird sich das Sickerwasser wie in einer Schüssel ansammeln und schließlich über die niedrigsten Stellen des Randes abfließen (Abb. 217); man nennt das

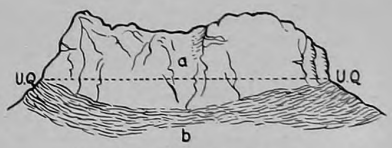


Abb. 217. Überfallquelle (UQ).
a durchlässiges, b undurchlässiges Gestein.

eine Überfallquelle. Läuft quer über die wassergefüllte Mulde ein Tal, das sich durch Erosion immer weiter vertieft, so wird der Bach schließlich den unterirdischen Behälter anzapfen und ihm einen Teil seiner Füllung entziehen (Abb. 218). Trocknet der Bach aus, so fährt die

auf diese Weise entstandene Zapfquelle fort zu fließen.

In den bisher genannten Fällen folgt das hervorquellende Wasser lediglich dem Zuge der Schwerkraft. Der Leser hat aber gewiß schon selbst die Beobachtung gemacht, daß manche

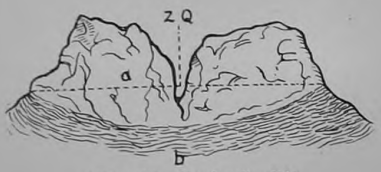


Abb. 218. Zapfquelle (ZQ).
a durchlässiges, b undurchlässiges Gestein.

Quellen aus bedeutender Tiefe heraufkommen, sich also gerade entgegengesetzt bewegen, als die Erdschwere vorschreibt. In manchen Badeorten sind die Heilquellen so gefaßt, daß man tief in den senkrechten Schlund hinabsehen kann, aus dem das wallende, von Kohlensäurebläschen erfüllte Mineralwasser hervorsprudelt. Eine starke Triebkraft ist hier tätig; wo haben wir deren Ursache zu suchen? Früher nahm man allgemein an, daß das Gesetz der kommunizierenden Röhren zur Erklärung der aufsteigenden Quellen ausreiche. Füllt man Wasser in ein hufeisenförmiges Gefäß,

Abb. 219. Gefäß mit zwei kommunizierenden Röhren.

so stellt es sich bekanntlich in beiden Schenkeln gleich hoch (Abb. 219). Man kann nun auch dem Hufeisen eine sehr unregelmäßige Form geben, den einen Schenkel kurz und steil, den anderen lang und sanft ansteigend machen, immer wird die Flüssigkeit in beiden Röhren genau das gleiche Niveau innehalten. In der Natur kann es nicht anders sein: wo im Erdboden zwei oder mehr Wasseradern miteinander in Verbindung stehen („kommunizieren"), müssen sie zu gleicher Höhe gefüllt sein.

Betrachten wir Abb. 220! Auf der linken Seite liegt heller, wasserdurchlässiger Kalkstein a zwischen den beiden wasserdichten Tonschichten b; das Grundwasser wird sich also an der Oberkante der unteren Tonschicht bc sammeln und auf ihr bergabwärts fließen. Hier stößt es aber nach einiger Zeit auf die Verwerfung c, wo ihm der Weiterweg durch die nach oben geschobenen Tonschichten versperrt wird. Dem Wasser bleibt nichts übrig, als die Verwerfungsspalte c selbst zu füllen, und nun kommt das Gesetz der kommunizierenden Röhren zur Geltung. Der eine Schenkel ist der Grundwasserstrom über b, der andere die Spalte c. Wenn die untere Tonschicht höher hinaufreicht als die Verwerfung, so muß das Wasser den Spalt bis oben hinauf füllen und bei SQ als

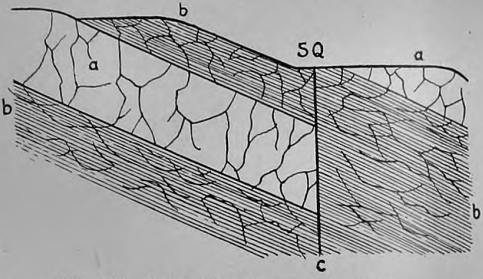


Abb. 220. Spalt- oder Verwerfungsquelle (SQ).

Quelle hervorsprudeln. Ist der Höhenunterschied bedeutend, also der aufsteigende Schenkel gleichsam zu kurz, so wird der Quell unter starkem Druck herausgetrieben, und es entsteht ein natürlicher Springbrunnen.

Derartige Spalt- oder Verwerfungsquellen kommen häufig vor, doch ist es, wie wir unten sehen werden, unmöglich, alle aufsteigenden Quellen auf diese Weise zu erklären.

Die bekannten artesischen Brunnen sind nichts anderes als künstliche Spaltquellen. Sehr häufig wird dem Wasser in der Tiefe der Ausweg auf allen Seiten durch undurchlässige Schichten versperrt (Abb. 221), so daß es sich

Abb. 221. A. B. „Artesischer Brunnen".

in den weiten unterirdischen Mulden mehr und mehr ansammelt. Bohrt man nun eine derartige Mulde etwa in der Mitte an, so muß nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren das Wasser im Bohrloch heraufsteigen. Diese Brunnen sind manchmal im Anfang hoch aufschießende Fontänen, nehmen dann aber allmählich ab und hören auf zu fließen, wenn der unterirdische Wasserbehälter erschöpft ist. In anderen Fällen bleiben sie jahrzehntelang gleich stark und ergiebig. Bei Großzössen unweit Leipzig wurde

im Februar 1904 ein artesischer Quell erbohrt, der anfänglich als haushoch aufschießender Wasserstrahl die Umgebung überschwemmte und täglich etwa 2 Millionen Liter Wasser lieferte. Die Ergiebigkeit verminderte sich dann rasch; am 25. Februar betrug sie 19, am 14. März 4, am 25. März 1,50, am 19. Juli nur noch 0,37 Liter in der Sekunde. Immerhin gehört eine so starke Abnahme zu den Ausnahmefällen; es müssen sich dort in der Tiefe seit langer Zeit gewaltige Wassermengen angesammelt haben, die nach Öffnung des Bohrlochs rasch verbraucht wurden und sich nicht wieder bilden konnten.

Das klassische Land der artesischen Brunnen ist Algier, wo die französische Regierung seit Mitte des vorigen Jahrhunderts mit großem Erfolg bemüht ist, durch Aufschließung der unterirdischen Wasseradern inmitten der Wüste neue Oasen zu schaffen und dadurch die umherziehenden Kabylenstämme an ein seßhaftes Leben zu gewöhnen. Der erste Brunnen wurde im Juni 1856 in der Oase Oued-Rir von der Fremdenlegion erbohrt und lieferte anfangs eine Wassermenge von 4 cbm in der Minute. Die Freude der Eingeborenen war grenzenlos, die Neuigkeit verbreitete sich gegen Süden hin mit beispielloser Schnelligkeit; aus weiter Ferne kamen Leute, um das Wunder zu sehen. Die Marabuts (mohammedanische Priester) weihten mit großer Feierlichkeit die neugeschaffene Quelle ein und gaben ihr den Namen „Friedensquelle".

In einer anderen Oase, der von Sidi-Nached, spielten sich die rührendsten Szenen ab. Sobald das Freudengeschrei der Soldaten den glücklichen Erfolg verkündigte, kamen die Eingeborenen in dichten Haufen herbei, stürzten sich in die segensreichen Wogen, und die Mütter badeten ihre Kinder darin. Der alte Emir konnte seine Gefühle nicht bemeistern; mit Tränen in den Augen fiel er auf die Knie nieder und erhob seine zitternden Hände, um Gott und den Soldaten zu danken. Die Quelle, genannt „Dankesquelle", gibt nicht weniger als 4,3 cbm in der Minute.

Übrigens haben die Bewohner der nordafrikanischen Wüsten die Kunst des Brunnengrabens schon vor Ankunft der Franzosen geübt, nur daß bei ihren primitiven Hilfsmitteln der gehoffte Erfolg oft ausblieb. Shaw erzählt: Die Einwohner von Wad-Reag verschaffen sich das Wasser auf eine sonderbare Art. Sie graben Brunnen von 100, ja manchmal von 200 Klafter Tiefe, bis sie unter dem Sande einen Stein finden, dem Schiefer ähnlich, unter dem sich das Wasser befindet. Dieser Stein läßt sich leicht durchbohren, worauf das Wasser so plötzlich und in solcher Fülle hervorbricht, daß die, welche man hinuntergelassen hat, mitunter umkommen, obwohl man sie so schnell wie möglich heraufzieht. — Schon die Schriftsteller der römischen Kaiserzeit erzählen von derartigen künstlichen Brunnen. In Europa sollen die Kartäusermönche des Klosters Lillers in der Grafschaft Artois (daher „artesischer" Brunnen) die ersten gewesen sein, die durch Grabungen künstliche Springquellen ans Tageslicht riefen.

Der allzu große Wasserreichtum mancher artesischer Brunnen hat schon Katastrophen veranlaßt. In Venedig wurde in den sechziger Jahren neben der Brauerei von Santa Agnese ein Brunnen gegraben. Als man etwa 50 m tief in die Erde eingedrungen war, stieg plötzlich unter explosionsartigen Erscheinungen eine aus Wasser, Schlamm und Sand bestehende Säule empor, die zeitweise eine Höhe von 41 m über dem Erdboden erreichte. Die Eruption erfolgte in unterbrochenen Stößen, schleuderte Steine und Schlammfetzen auf die Dächer der benachbarten Häuser und überschwemmte die umliegenden Gründe mit schlammigem, reißend schnell ablaufendem Wasser. Im Lauf der nächsten Tage senkte sich das Erdreich an mehreren Stellen in der Umgebung der Quelle, so daß eine Anzahl Häuser wegen Gefahr des Einsturzes geräumt werden mußten. In anderen Fällen richteten die plötzlich hervorströmenden Wassermassen ungeheuren Schaden in den benachbarten Gärten, Feldern, Obstplantagen usw. an. Großes Mißgeschick widerfuhr einem italienischen Landwirt, der durch Anlage eines artesischen Brunnens reich zu werden hoffte. Die erbohrte Quelle war so mächtig, daß sie nicht nur sein eigenes Grundstück, sondern auch die seiner Nachbarn zerstörte. In den deswegen gegen ihn eingeleiteten Prozessen verlor er sein ganzes Vermögen; die Geschichte des Goetheschen Zauberlehrlings hatte sich zu seinem Unheil bei ihm verwirklicht.

In fast allen Ländern gibt es zahlreiche Quellen, die nur im Frühling und Sommer fließen, solange das eingesickerte Schnee- oder Eiswasser ihnen Nahrung spendet. Solche Quellen heißen Frühlings-, Mai- oder Sommerbrunnen. Öfters versiegen sie nicht gänzlich in der kalten Jahreszeit, sondern fließen nur mit stark verminderter Wassermenge. Besonders häufig sind sie im Hochgebirge, wo sich im Lauf des Winters gewaltige Schnee-

massen anhäufen, die dann bis zum Spätsommer langsam abschmelzen. Schon der ältere Plinius kannte Frühlingsquellen am Olymp und auf Sizilien. Ein vielgenannter Sommerbrunnen ist der Engstlerbrunn im Kanton Bern, von dem die alten Chronisten behaupten, daß er Jahr für Jahr regelmäßig am 15. Juni hervorkäme und am 10. August wieder austrockne. „Er fleust aus einem Felsen und ist nahent darbey kein ander Wasser. Es weis aber das Rindviehe, auch andere wilde Thiere, dieses widerkommenden und herfliessenden Wassers Zeit alle Tage." Diese wunderbare Regelmäßigkeit ist natürlich ein Märchen, in Wirklichkeit beginnt der Brunnen oft schon Mitte Mai zu fließen, setzt häufig ein paar Tage oder Stunden (namentlich des Morgens wegen der dann unterbrochenen Schneeschmelze) ganz aus und versiegt in der Regel Mitte August. Auch die berühmten Thermalquellen von Pfäffers in der Schweiz und die Schwefelquellen an der Töll bei Meran sind nur während der warmen Jahreszeit ergiebig.

Hieran schließen sich die sogenannten Hungerbrunnen, die nach dem Volksglauben nur in Jahren zum Vorschein kommen, in denen allgemeiner Mißwachs, Teuerung und Hungersnot bevorstehen. Zu ihnen gehören auch zahlreiche Quellen, die für gewöhnlich wenig Wasser geben, in „Hungerjahren" aber mit starkem Strahl hervorbrechen. In Süddeutschland und der Schweiz gibt es zahlreiche Hungerbrunnen. In Schwaben erzählt man vom „Brölle", einem bei Hausen auf der Alb gelegenen Wasserkessel, daß er zuweilen mit furchtbarem Getöse ausbricht und das Tal überschwemmt, was dann immer ein Hungerjahr andeutet. Ein anderer Hungerbrunnen liegt bei Altheim unweit Ulm, er fließt der Sage nach nur, wenn Teuerung und Krieg ins Land kommen.

Man darf solchen Glauben nicht schlechthin für Unsinn halten. 1661 flossen im Bezirk Sulzbach (Oberpfalz) die Teuerungsbrunnen sehr stark und brachten eine unglaubliche Menge „Grundeln" mit, so daß man sie auf den Straßen fand; 1662 war das Getreide auf den vierfachen Wert gestiegen; 1665 waren die Brunnen vertrocknet und erschienen erst 1675 wieder. Wir brauchen aber nicht so weit zurückzugreifen; stand doch erst im letztvergangenen Sommer (1910) in den Zeitungen zu lesen, daß in manchen Gegenden der Pfalz, des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb ein reichliches Fließen der Hungerbrunnen beobachtet worden sei! Wiederum haben die schlimmen Vorzeichen, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, recht behalten: zahlreiche Feldfrüchte und Obstarten haben einen ungewöhnlich geringen Ertrag geliefert, und eine so traurige Weinlese, wie sie der Herbst 1910 gebracht hat, ist seit Jahrzehnten nicht dagewesen.

Die naturwissenschaftliche Erklärung dieses Zusammentreffens liegt auf der Hand. Jahre wie 1910, deren Frühlings- und Sommermonate sich durch ein Übermaß von Regen auszeichnen, werden in der Regel schlechte Ernten liefern; gleichzeitig dringt viel mehr Sickerwasser als sonst in den Boden und verstärkt die Zuflüsse der vadosen Quellen. Auch füllen sich in der Tiefe viele Sammelbecken, deren Wasserspiegel in anderen Jahren zu tief liegt, um einen Abfluß zu finden, jetzt aber einen so hohen Stand erreicht, daß sich eine überfallquelle bilden kann (vgl. oben). Andere Hungerbrunnen mögen sich nach dem Hebergesetz erklären, ähnlich wie die sogenannten Stundenquellen, zu denen wir jetzt übergehen.

Manche zeitweilig aussetzende („intermittierende") Quellen sind vom Wechsel nasser und trockener Zeiten ziemlich unabhängig, sie fließen und versiegen in ziemlich kurzen Zwischenräumen, die oft nur wenige Stunden betragen. Durch ihre regelmäßig wiederkehrende Tätigkeit erinnern manche dieser Stundenquellen auffallend an die Geiser, lassen sich aber mit diesen nicht vergleichen, weil sie größtenteils kalt sind und in nichtvulkanischen Gegenden ihren Ursprung haben. Oft handelt es sich um Quellen, die nur während der warmen Tageszeit vom schmelzenden Schnee oder Gletschereis gespeist werden und dann ein paar Stunden lang fließen; weil aber das einsickernde Schmelzwasser seinen Weg durch die Erdschichten nur ganz langsam findet, so kann der Abend oder die Nacht herankommen, bis es an den Quellausfluß gelangt. Dies scheint z. B. bei dem obengenannten Engstlerbrunnen zuzutreffen, der in den meisten Sommern ziemlich regelmäßig von 4 Uhr nachmittags bis etwa 8 Uhr morgens in Tätigkeit ist. Auf dem Ätna sind mehrere Brunnen bekannt, die nur am Tage vom geschmolzenen Schnee fließen. Das Anschwellen der Gletscherbäche in den Nachmittags- und Abendstunden ist eine jedem Hochtouristen vertraute Erscheinung.

Viele Stundenquellen liegen jedoch weit entfernt von den Eis- und Schneefeldern des Hochgebirges, mit ihnen muß es also eine andere Bewandtnis haben. Der Karlsbrunnen bei Eichenberg (südlich von Göttingen) fließt ab-

wechselnd zwei Stunden schwach und zwei Stunden sehr stark. Der Polterbrunnen bei Altenbecken (unweit Paderborn) soll im Sommer alle sechs, in der anderen Jahreszeit alle vier Stunden mit starkem Getöse eine bedeutende Wassermenge auswerfen. Zu Kimp in Südungarn ist eine Quelle, die bei Regenwetter alle 10 bis 15 Minuten, bei Trockenheit alle 20 bis 30 Minuten etwa 40 Eimer Wasser hervorsprudelt. Die Quelle des Lambroflusses bei Como nimmt drei Minuten zu, fünf Minuten ab, bleibt sich dann acht Minuten gleich und so fort. Man findet, in Reiseschilderungen und Länderbeschreibungen zerstreut, eine Menge Nachrichten über dergleichen intermittierende Quellen, doch oft in so unklarer Form, daß sie sich wissenschaftlich nicht verwenden lassen. Bislang sind nur sehr wenige Stundenquellen vom geologischen Standpunkt aus einer gründlichen Prüfung unterzogen worden; daher läßt sich auch über die Ursachen der merkwürdigen Erscheinung nichts Bestimmtes aussagen. Die herkömmliche Erklärung der Stundenquellen stützt sich auf das Hebergesetz.

Abb. 222. Unterirdisches Wasserbecken mit Heberkanälen.

Der Heber ist bekanntlich eine hakenförmig gebogene Röhre, die man benutzt, um größere Behälter von oben zu entleeren. Der kurze Arm des Hebers wird in den Behälter getaucht, so daß er bis auf den Boden hinabreicht, der längere hängt außen frei hinab. Saugt man nun den Heber an, wodurch er sich mit Flüssigkeit füllt, so treibt der Luftdruck den gesamten Inhalt aus dem Gefäß heraus. In der Natur übernimmt ein unterirdisches Sammelbecken die Rolle des Behälters, während eine zuerst aufwärts, dann abwärts gebogene Spalte als Heber wirkt. Abb. 222 soll zeigen, wie wir uns einen natürlichen Quellenheber ungefähr vorstellen müssen. Denken wir uns, die unterirdische Höhlung A fülle sich allmählich mit einsickerndem Regenwasser, so wird (nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren) ein Abfluß erst eintreten, wenn das Wasser bis zur Höhe b gestiegen ist. Nun bricht bei c eine starke Quelle hervor, die erst dann versiegt, wenn das Sammelbecken fast ganz entleert ist. Sowie einmal der Ausfluß unterbrochen ist, kann er erst wieder beginnen, wenn sich der Behälter von neuem bis zum Niveau b gefüllt hat. Derartige Quellen müssen also abwechselnd fließen und versiegen; wieoft dies eintritt, hängt hauptsächlich von der Größe des Sammelbeckens und der Gestalt des aufwärts gebogenen Abflußkanals ab.

Abb. 223. Der Namedysprudel bei Andernach.

Wie gesagt, ist diese Erklärung der inter-

mittierenden Quellen eine rein hypothetische, nachgewiesen hat man die unterirdischen Heberkanäle bislang nirgends. Da aber starke Verbiegungen und Krümmungen der Gesteinschichten häufig vorkommen, so ist auch die Existenz gekrümmter Spalten zweifellos, und die Möglichkeit, daß sie gelegentlich als Heberröhren wirken können, nicht zu leugnen.

Wo es sich um ein mehr unregelmäßiges Fließen, um plötzliche, gewaltsame Quellausbrüche handelt, denen lange Ruhepausen folgen, wird man die Ursache besser in einer zeitweiligen Entwicklung von Gasen und Dämpfen suchen. Die Gase häufen sich in den Quellenwegen so lange an, bis ihre Spannung den Druck der Wassersäule überwindet, worauf eine Explosion erfolgt und eine bedeutende Wassermasse hinausgeworfen wird; nunmehr ist „Luft" geschafft, und es tritt eine Ruheperiode ein, in der sich Wasser und Gas von neuem ansammeln. Derartige Springquellen erinnern in ihrem Wesen schon stark an die Geiser, wie aus nachfolgender Schilderung der bedeutendsten deutschen Naturfontäne, des Namedysprudels bei Andernach (Abb. 223), klar hervorgeht.

Dieser „kalte Geiser" entspringt einem 340 m tiefen Bohrloch, das tief in die vulkanischen, unter dem Rhein durchziehenden Eifelgesteine hinabreicht. Alle vier Stunden sendet er einen mächtigen Wasserstrahl empor, der allmählich — für einige Minuten — eine Höhe von 60 m über dem Bassin erreicht. Im ganzen wird also das Wasser durch die plötzliche und gewaltsam einsetzende Kohlensäureentwicklung 400 m emporgeschleudert. Warum aber geschieht dies so plötzlich? Bei den eigentlichen Geisern sahen wir, daß wahrscheinlich heiße, aus dem vulkanischen Herd aufsteigende Dampfblasen ins Quellenrohr eindringen und das Wasser zum Sieden und Aufschäumen bringen. Eine ähnliche Rolle dürfen wir beim Namedysprudel der Kohlensäure zuschreiben. In dem vulkanischen Untergrund entwickelt sich andauernd Kohlensäure, die zunächst nicht entweichen kann, weil das darüberstehende Wasser sie daran hindert. Allmählich aber wird die Spannung des sich mehr und mehr ansammelnden Gases so groß, daß sie den Wasserdruck überwindet, worauf binnen weniger Minuten das plötzlich befreite Gas ungeheure Massen des flüssigen Elementes (bei jedem Ausbruch etwa 40 000 Liter) in die Lüfte schleudert.

In diesem Falle ist es also eine sich immer wieder ergänzende Ansammlung von Kohlensäuregas, die den Sprudel zu periodischem Aufsteigen zwingt. Das gibt uns zu denken. Auch zahlreiche ohne Unterbrechung fließende Quellen, einfache Säuerlinge wie mineralische Heilquellen, enthalten bedeutende Mengen des perlenden, erfrischenden Gases. In seltenen Fällen sind es Schichtquellen, die, der Erdschwere gehorchend, an einem Bergabhang zutage treten, meist steigen sie als kräftige Sprudel aus unbekannter Tiefe senkrecht empor. Sollte etwa die Kohlensäure jene rätselhafte Triebkraft sein, deren Wesen man früher auf rein physikalischem Wege, nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren (vgl. oben), erklären wollte?

Nach der alten Lehrmeinung werden alle aufsteigenden Quellen allein durch den Wasserdruck (hydrostatischen Druck) emporgepreßt. Wir erkannten dies als richtig bei den gewöhnlichen Spalt- und Verwerfungsquellen sowie bei den meisten artesischen Brunnen. Die Zahl der gewöhnlichen Verwerfungsquellen, die man mit Sicherheit auf das Gesetz der kommunizierenden Röhren zurückführen kann, ist jedoch auffallend klein. Dazu kommt folgende häufig gemachte Beobachtung, die einen wohl stutzig machen kann. Versucht man, was bei Neuanlagen von Trinkbrunnen oft ausprobiert worden ist, die Mündung einer aufsteigenden Quelle nur ein wenig höher zu legen, so bleibt das Wasser aus. Der andere Schenkel der kommunizierenden Röhren müßte also in allen diesen Fällen nur ganz wenig höher hinaufreichen als die Quellmündung, was doch äußerst unwahrscheinlich ist.

Die kräftig aufsprudelnden Mineralquellen von Kissingen, Neuenahr, Pyrmont usw. haben nach der landläufigen Ansicht ihren Ursprung auf den benachbarten Bergrücken. Das Regenwasser sickert in die Tiefe, laugt auf seiner langwierigen Wanderung durch die Gesteinschichten allerhand Mineralstoffe aus, trifft irgendwo auf eine Ansammlung von Kohlensäuregas, die es verschluckt, und gerät schließlich in eine nach oben gerichtete Spalte, in der es gemäß dem Gesetz der kommunizierenden Röhren bis zur Oberfläche emporsteigt. Nun erheben sich aber die Gipfel jener Bergzüge mehrere hundert Meter über die Talgründe, wo die Mineralquellen hervortreten; daher sollte man meinen, ein künstliches Höherlegen der Mündung um wenige Meter würde der Quelle gar nichts ausmachen. Weit gefehlt! Oft reicht die Triebkraft nicht einmal zur Überwindung eines einzigen weiteren Meters aus. Die Höhe, bis zu der die Quellen befähigt sind emporzusteigen, ist offenbar in den meisten Fällen annähernd an dem Punkte

erreicht, wo sie von selbst austreten; die Natur müßte also überall zwei kommunizierende Röhren von gleicher Höhe geschaffen haben, ein sonderbarer Zufall, den niemand im Ernst annehmen wird.

Bedingung wäre ferner, daß die Quelle als einheitliche geschlossene Wassermasse in einer breiten Spalte emporstiege. Dies trifft für manche Sprudel zu, jedoch fast nur für künstlich erbohrte, während viele natürliche Quellausflüsse sich durch festes Gestein mühsam den Ausgang erkämpfen müssen. Nach R. Delkeskamp haben die Fassungsarbeiten bei den Mineralquellen von Ems, Marienbad, Langenschwalbach und anderen klar erwiesen, daß an allen diesen Orten das Mineralwasser auf zahlreichen kleinen und kleinsten Rissen, die sich über einen verhältnismäßig weiten Flächenraum verteilen, aus dem Gestein hervordringt. Der Kochbrunnen von Wiesbaden, scheinbar ein einheitlicher Quellstrom, ist aus 15 einzelnen Wasseradern zusammengefaßt. Aus allen feinen Klüften und Ritzen, bei geschichteten Felsarten auch auf den Schichtenfugen, schwitzt Mineralwasser aus. Von einem kommunizierenden Röhrensystem kann in solchen Fällen gar nicht gesprochen werden.

Eine weitere beachtenswerte Erscheinung ist, daß alle Sauerbrunnen bei hohem Barometerstand ihre Ergiebigkeit auffallend vermindern. Die Franzensbader Quellen sind nahezu unabhängig von den atmosphärischen Niederschlägen, selbst in sehr heißen, trockenen Sommern fließen sie wie gewöhnlich. Sorgfältige, mehrere Jahre lang fortgesetzte Messungen haben gezeigt, daß sie um so mehr Wasser liefern, je tiefer das Barometer steht. Am 10. November 1859, als ein ungewöhnlich hoher Luftdruck herrschte, blieb die gasreiche Franzensquelle plötzlich aus und gab 32 Stunden kein Lebenszeichen mehr. Als dann das Barometer fiel, erholte sie sich allmählich. Auch zu Homburg bemerkte man eine ähnliche Erscheinung. Am 11. November betrug der Luftdruck nahezu 28 Zoll, wobei der Homburger Stahlbrunnen erst in 26 Minuten so viel Wasser lieferte wie vor- und nachher in 18½ Minuten. Auch die übrigen dortigen Brunnen gaben bedeutend weniger Wasser, ebenso im benachbarten Soden, wo der große Sprudel vollkommen versiegte. Auf die gleichen Tage fielen starke Stürme und Gewitter an den deutschen Küsten und Ausbrüche des Vesuvs.

Der große Nauheimer Solsprudel springt bei niedrigem Barometerstand höher und bringt mehr Sole herauf als bei hohem Luftdruck. Dies ist, wie ein Beobachter schreibt, so regelmäßig und auffallend, daß man bei Anbringung einer geeigneten Skala den Sprudel als umgekehrtes Barometer benutzen könnte, wenn nicht die atmosphärischen Niederschläge gewisse Störungen bewirkten. Die Solquelle wird nämlich etwa vier Wochen nach anhaltendem Regen ergiebiger, steigt also höher auf als zu anderen Zeiten.

Es war auch bei heftigen Stürmen und einem ungewöhnlich niedrigen Luftdruck, als im Dezember 1846 der zweite Nauheimer Solsprudel sich durch ein verlassenes Bohrloch Bahn brach. Diese Quelle ergoß damals täglich an 90000 Kubikfuß Wasser und ganz gewaltige Mengen freier Kohlensäure.

Die Abhängigkeit der Sauerbrunnen vom Luftdruck bleibt ganz unverständlich, solange man als Ursache der Triebkraft den in kommunizierenden Röhren herrschenden Wasserdruck annimmt. Es ist vielmehr die Kohlensäure, die das Wasser hebt und zum Ausfließen bringt. Jedes im Quellengang aufsteigende Gasbläschen verdrängt ein kleines Raumteilchen Wasser und reißt durch seine Bewegung dies Wasser mit nach oben. Die gesamte freie Kohlensäure eines Säuerlings hat einen bestimmten Rauminhalt, durch den ein ebenso großer Rauminhalt Wasser verdrängt und gehoben wird. Die Gasbläschen wirken also gleichsam als Vehikel (Beförderungsmittel) des Wassers, das sie teilweise in leichtbeweglichen Schaum verwandeln. Da in den Sauerquellen oft Tausende von Bläschen sich gleichzeitig entwickeln, so genügt deren Triebkraft, um die Wasser viele Meter emporzureißen.

Jetzt verstehen wir, warum die Säuerlinge bei hohem Barometerstand schwächer fließen, ja unter Umständen ganz aussetzen. Wächst der Druck der atmosphärischen Luft, so werden die Gasblasen in der Quelle zusammengedrückt, ihr Rauminhalt vermindert sich, es wird weniger Wasser durch die Gase verdrängt und gehoben. Bei manchen Quellen genügt dann der Auftrieb nicht mehr, um sie die Mündung erreichen zu lassen, sie bleiben aus, das Wasser stagniert in der Tiefe, bis der äußere Luftdruck abnimmt und wieder eine stärkere Kohlensäureentwicklung möglich wird. Im entgegengesetzten Fall, bei ungewöhnlich tiefem Barometerstand, erfährt das Gas vom Luftdruck nur noch geringen Widerstand, die Blasen vermehren und vergrößern sich bedeutend, verdrängen weit mehr Wasser als sonst und bringen die Quelle zum starken

Fließen, das gelegentlich unter explosionsartigen Erscheinungen einsetzen kann.

Auch die obenerwähnte Beobachtung, daß die meisten Sauerbrunnen zu fließen aufhören, wenn man den Quellenmund nur ein wenig höher legt, findet jetzt eine leichte Erklärung. Keine Quelle kann höher steigen, als ihr Kohlensäuregehalt zuläßt. Eine bestimmte Wassermenge wird verdrängt und gehoben, darüber hinaus geht es nicht. Viele Sauerquellen haben ihre größtmögliche Höhe schon dort erreicht, wo sie von Natur austreten, nur wenige sind imstande, noch eine weitere kleine Steigung zu überwinden. Eine Ausnahme machen allein jene ungemein kohlensäurereichen Sprudel, die geiserartig hoch über die Erdoberfläche aufspritzen.

Natürlich können auch andere Gase als Kohlensäure die unterirdischen Wasser emporheben. Die übergroße Mehrzahl der warmen Quellen (Thermen) wird von Dampfblasen aufgetrieben, die in den meisten Fällen einfach aus heißem Wasserdampf, gelegentlich aber auch aus anderen Gasen, wie Wasserstoff, Stickstoff, Schwefelwasserstoff, Sumpfgas usw., bestehen. In den Salz- und Petroleumquellen Pennsylvaniens und des Kaukasus wirken brennbare Kohlenwasserstoffe, namentlich das sogenannte Sumpfgas (Methan), als Triebkraft. Wie gewisse Säuerlinge, so neigen auch die Kohlenwasserstoffquellen zu plötzlichen, gewaltsamen Ausbrüchen, die sich dann oft eine Zeitlang in regelmäßigen Zwischenräumen wiederholen. Im Januar 1879 sprang aus einem 2000 m (!) tiefen Bohrloch bei der pennsylvanischen Stadt Kane alle 13 Minuten eine bis zu 51 m hohe Wasser- und Gassäule auf, die sich bisweilen entzündete. Auch die Naphthaquellen von Baku werden von ähnlichen Gasen aus den Bohrlöchern emporgetrieben, wobei oft 50 und mehr Meter hohe Fontänen entstehen. Die frei ausströmenden Kohlenwasserstoffgase werden an vielen Orten aufgefangen und technischer Verwendung dienstbar gemacht. In Pittsburg und den benachbarten Städten benutzte man sie eine Zeitlang zur Straßen- und Häuserbeleuchtung sowie zu industriellen Zwecken (doch waren die dortigen Naturgasquellen bald erschöpft); in manchen Salzbergwerken dienen sie zur Beleuchtung der Grubenräume; in China versiedet man auf gewissen Salinen die Sole mittels der aus dem Boden aufsteigenden brennbaren Gase.

Eine Art unreiner Quellen sind die sogenannten Schlammvulkane oder Salsen, die zum großen Teil mit dem Vulkanismus wenig oder gar nichts zu tun haben und daher besser als Schlammsprudel zu bezeichnen sind. Äußerlich gleichen sie Miniaturvulkanen: es sind kleine, nur ein paar Meter hohe Kegel mit einer trichterförmigen Vertiefung auf dem Gipfel. Ihnen entströmt breiiger Schlamm oder schmutziges, oft salziges, mit Erdöl gemischtes Wasser, das von Kohlenwasserstoff, dem aber auch andere Gase beigemengt sind, emporgepreßt wird. Manche Salsen fließen andauernd und ziemlich ruhig, bei anderen wechseln heftige Ausbrüche periodisch ab mit Ruhepausen. Zuweilen kommt es unter donnerndem Getöse der ausströmenden Gase zu gewaltsamen Explosionen, die in der Tat an echte Vulkanausbrüche gemahnen: zähe Schlammfetzen und losgerissene Steine fliegen umher, die aufsteigenden Gase entzünden sich und bilden förmliche Feuersäulen, nachts zucken über dem brodelnden Kessel bläuliche Flammen. Bei dem großartigen Ausbruch des Lok Botan am 5. Januar 1887 erreichte die Feuerfontäne der brennenden Petroleumgase eine Höhe von rund 600 m!

Bei Kuwu auf Java liegt eine Ebene, auf der sich zu gewissen Zeiten bis zu 21 m hohe Schlammkegel bilden, die schließlich mit lautem Knall zerplatzen. Dabei entweicht ein dunkelblauer, nach Jod riechender Dampf; hier haben wir es jedenfalls mit einer vulkanischen Kraftäußerung zu tun, ebenso wie bei den isländischen Salsen, deren schwarzblauer, unter starker Dampfentwicklung ausgeworfener Schlamm von den Isländern als Heilmittel gegen Hautausschläge angewandt wird. Heilkräftig ist bekanntlich auch der stark radioaktive Schlamm (Fango) der heißen Quellen von Battaglia, die ebenfalls vulkanischem Boden entsprudeln. Dagegen scheinen die zahlreichen Schlammsprudel an den Küsten des Schwarzen und Asowschen Meeres den vulkanischen Erscheinungen fremd gegenüberzustehen. Die treibenden Gase (Kohlenwasserstoffe) entstehen hier durch Selbstzersetzung gewisser Gesteinschichten, in denen ungeheure Massen organischer Stoffe einen langsamen Zerfall erleiden.

Wir rühren damit an ein schwieriges Kapitel der Geologie, an die Frage nach der

Entstehung des Petroleums.

Das natürliche Erdöl, wie es aus den Bohrlöchern quillt, ist ein Gemisch aller möglichen flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffe, deren chemische Formeln zum

Teil recht verwickelt sind. Man benutzte es schon im Altertum zu Beleuchtungszwecken, so wurde das Erdöl von Agrigent als „sizilianisches" Öl in Lampen gebrannt. Im Mittelalter und selbst noch später wurde es auch als Medizin gebraucht, wie z. B. das Quirinusöl von Tegernsee im bayrischen Hochland. Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts hat man die gewaltigen Ölschätze der Staaten Neuyork, Pennsylvania und Ohio erschlossen, wo bis 1886 schon 53 000 Petroleumquellen erbohrt worden waren. In letzter Zeit hat sich auch in anderen Gegenden, wie bei Baku am Kaspischen Meer, wo das „ewige Feuer", eine angeblich seit tausend Jahren brennende Gasquelle, göttliche Verehrung genoß, in den Karpathenländern und bei Peine in Hannover die Produktion bedeutend gehoben.

Das rohe Erdöl wird jetzt nicht mehr gebrannt, da es zu feuergefährlich ist; man befreit es durch Destillation von dem leicht explodierenden Petroleumäther wie von den schweren Ölen, die beim Raffinieren im Rückstand bleiben. Das raffinierte Öl kommt als Petroleum in den Handel, der Äther liefert Benzin, die schweren Öle dienen unter anderem zur Gewinnung von Paraffin, Vaselin und zur Darstellung von Petroleumleuchtgas. Die technische Verwendbarkeit des Erdöls ist eine ungemein vielseitige, und die Frage nach dem Ursprung dieses für unsere Kultur so hochwichtigen Stoffes darf gewiß einiges Interesse beanspruchen.

Vereinzelte Stimmen haben das Erdöl für ein *vulkanisches* Erzeugnis erklärt, aber wenn es auch richtig ist, daß manche Vulkane Kohlenwasserstoffgas aushauchen, so liegt darin doch noch kein Beweis für obige Auffassung. Da man an manchen Orten das Erdöl erbohren kann, wie einen artesischen Brunnen, so muß es dort offenbar größere unterirdische Hohlräume geben, die mit der brennbaren Flüssigkeit gefüllt sind. Wie kommen nun diese Ansammlungen zustande? Am meisten Geltung besitzt heute die Hypothese ihres Ursprungs aus *zersetzten tierischen Resten*.

Billionen niedrig organisierter Tiere: Foraminiferen, Korallen, Schwämme, Muscheln usw. wurden durch eine plötzliche Katastrophe im Schlamm vergraben, wo ihre Leichen, geschützt durch die immer mächtiger werdende Schlammdecke, einer *äußerst langsamen Verwesung* anheimfielen. Die chemischen Vorgänge, die schließlich zur Bildung von Erdöl führen, sind recht verwickelt und können hier nur kurz angedeutet werden. Die stickstoffhaltigen Teile des Tierkörpers gehen in Fäulnis über, zurück bleiben Fettreste, aus denen sich freie Fettsäuren abscheiden. Diese Stoffe durchtränken allmählich die gesamten Schlammassen sowie möglicherweise die darunter befindlichen Gesteinschichten und liefern dann durch weitere Umsetzung flüssiges Erdöl und Petroleumgase. Das Erdöl mag sich oft verhalten wie Grundwasser, d. h. allmählich in die Tiefe sickern, bis es auf eine undurchlässige Schicht stößt, über der es sich dann in großen Mengen ansammelt.

Enthält jedoch das Erdöl reichliche Gase, so kann es nicht hinabsickern, weil die Gase es nach oben drängen, gerade wie die Kohlensäure häufig das Grundwasser zum Aufsteigen bringt; ja das Petroleum gehorcht dem Auftrieb noch leichter, weil es spezifisch nicht so schwer ist wie Wasser. Dieses gasreiche Erdöl wird bestrebt sein, nach oben zu steigen, und sich in den *Schichtgewölben* oder *Faltensatteln* (Antiklinalen) zusammendrängen, wo man in der Tat häufig ergiebige Petroleumbassins antrifft.

Nach einer anderen Hypothese wäre das Petroleum aus der *Zersetzung von Pflanzenresten* hervorgegangen. Man kennt wachserzeugende Algen, und es ist wohl denkbar, daß diese Pflanzen gelegentlich in ruhigen Meeresbuchten mächtige Wachsmassen ablagern, aus denen durch spätere Zersetzung Erdöl hervorgeht. Andere Quellen des Petroleums sind die *Stein- und Braunkohlenlager*. Bei der langsamen Verkohlung der urweltlichen Pflanzenmassen entwickeln sich, wie wir in der Einleitung sahen (S. 4), verschiedene Gase, vor allem Kohlensäure und Sumpfgas. Da haben wir einen gasförmigen Kohlenwasserstoff, den treuen Begleiter des Petroleums! In der Tat beobachtet man in manchen Steinkohlengruben, wie flüssiges Erdöl direkt aus den Kohlenmassen hervorschwitzt oder gar an der Decke und den Wänden der Gruben förmliche Trauben bildet, gegen die sich der Bergmann durch Bretterverschläge schützen muß. Auch künstlich läßt sich aus manchen Braunkohlen eine dem Petroleum gleichende Flüssigkeit gewinnen, die als *Photogen* in den Handel kommt.

Der eine oder andere Erklärungsversuch mag in manchen Fällen das Richtige treffen, aber gerade in den wichtigsten und ausgedehntesten Petroleumgebieten sucht man vergebens nach tatsächlichen Anhaltspunkten, die zugunsten dieser oder jener Hypothese ins Gewicht fallen könnten. Sehr auffällig ist die enge Verknüpfung der Petroleumlager mit den *Faltenge-*

birgen, so sind die Quellen von Pennsylvanien und Kanada an die Alleghanies gebunden, jene von Baku an den Kaukasus, die galizischen an die Karpathen usw. Danach scheint es, als habe erst die Gebirgsfaltung dem Petroleum den Weg in die höhergelegenen Erdschichten freigemacht, wo es nun verhältnismäßig leicht erbohrt werden kann. Die Wiege des Erdöls, seine Bildungsstätte, wäre aber in einer viel tieferen Zone zu suchen. Dieser Gedankengang hat zur Aufstellung einer Hypothese geführt, die namentlich in Frankreich viel Beifall gefunden hat. Im Erdinnern sollen große Mengen von Metallkarbiden vorhanden sein, die beim Aufsteigen in höhere Schichten mit Wasser in Berührung kommen und sich dabei zersetzen. Das Produkt dieser Zersetzung wären die verschiedenen gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffe. So beachtenswert dieser Gedanke ist, krankt er doch an dem Fehler, daß wir über das Vorkommen von Metallkarbiden im Erdinnern nichts Zuverlässiges wissen (vgl. S. 114).

Jedenfalls kann Petroleum auch auf rein anorganischem Wege entstehen, aber ob dies der gewöhnliche Vorgang ist, bleibt vorerst noch eine offene Frage.

Drittes Kapitel. Die Mineralstoffe der Quellen.

Eine alte Streitfrage ist, woher die im Quellwasser gelösten Mineralstoffe stammen.

Als höchstes Lob eines Trinkwassers gilt im allgemeinen, daß es gänzlich „rein" ist. Wer aber jemals absolut reines, d. h. destilliertes, in Dampf verwandeltes und dann wieder verflüssigtes Trinkwasser getrunken hat, der weiß, daß dies ein sehr zweifelhafter Genuß ist. Solches „Wasser an sich" schmeckt ungemein fade und wirkt, in größerer Menge genossen (was aber so leicht niemand fertigbringt), direkt schädlich auf den Organismus. Im Hochgebirge gibt es einzelne Quellen, die zwar nicht ganz „rein" sind, doch nur schwache Spuren von Mineralstoffen enthalten; ihr Genuß soll Magenbeschwerden, ja im Einzelfalle ernste Erkrankungen der Verdauungsorgane hervorrufen.

Der menschliche Organismus ist nun einmal auf das mineralhaltige Wasser eingestellt. Soll ein Quell gut munden und den Körper erquicken, so muß er vor allem eine bestimmte Menge von kohlensaurem Kalk und Kochsalz enthalten. Viel braucht es nicht zu sein. Man hat das Wasser zahlreicher gewöhnlicher Quellen und Brunnen chemisch analysiert und gefunden, daß im Mittel auf 100000 Teile Wasser etwa 32 Teile fester Stoffe kommen, darunter 8 Teile kohlensauren Kalkes und ebensoviel Kochsalz. Der Rest der gelösten Stoffe entfällt auf verschiedene schwefelsaure Salze, namentlich Gips und Bittersalz, phosphorsaure Salze, Chlorkalium und sehr wenig Kieselsäure.

Es gibt jedoch zahlreiche Quellen mit weit größerem Gehalt an kohlensaurem Kalk und Mineralstoffen überhaupt. Solches Wasser wird „hart" genannt, ist wohl noch zum Trinken brauchbar, aber nicht zum Waschen, weil es die Seife am Aufschäumen hindert. Überall wo Kalkgesteine die herrschende Formation bilden, nimmt das im Boden zirkulierende Grundwasser sehr viel Kalk in sich auf, in solchen Gegenden benutzt man daher zu wirtschaftlichen Zwecken nach Möglichkeit Regenwasser. Bei der Anlage von Wasserleitungen ist es natürlich wichtig, den Härtegrad der in Frage kommenden Quellen zu bestimmen. Wenn 100 Gramm Wasser $^{12}/_{1000}$ Gramm Kalk oder verwandte Bestandteile gelöst enthalten, so sagt man, das Wasser hat den Härtegrad 12. Bei einem Härtegrad von 18 und darüber ist das Wasser selbst zum Trinken nicht mehr zu empfehlen, geschweige denn zum Wirtschaftsgebrauch.

Neben allerhand Salzen kommen auch Gase im Quellwasser vor. Schon der Regen enthält etwas Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure, die er aus der Luft aufsaugt, und eben diese Gase finden sich im Grundwasser wieder. Selbst von den seltenen Edelgasen der Atmosphäre, Argon und Helium, hat man Spuren in manchen Quellen nachgewiesen. Ein anderer Teil der Quellgase stammt jedoch aus den durchflossenen Erdschichten, vor allem die Hauptmasse der Kohlensäure. Der Gehalt an diesem Gase ist für die unterirdisch zirkulierenden Wasser von großer Wichtigkeit, da er sie in den Stand setzt, aus den Gesteinen allerlei Mineralstoffe auszulaugen.

Wir sehen hier ab von den Säuerlingen, die fast durchweg ihre Kohlensäure von den erkaltenden Magmaherden der Tiefe beziehen, und fassen nur die schwach kohlensäurehaltigen Quellen ins Auge. Solche finden sich ja überall, selbst in gänzlich unvulkanischen Gebieten sind sie allgemein verbreitet. Daran merken wir, daß es noch andere Geburtsstätten der

natürlichen Kohlensäure geben muß, wenn sie auch einen Vergleich mit der gewaltigen Gasfabrik des Erdinnern kaum aushalten. Von allen möglichen Bildungsarten interessieren uns hier nur solche, die in den Erdschichten selbst vor sich gehen, während z. B. die Vermehrung der Luftkohlensäure durch verbrennende Meteore außer Betracht bleiben kann.

Die alleroberste Bodenschicht ist gewöhnlich erfüllt von Pflanzenresten, abgefallenen Blättern, Holzstückchen, abgestorbenen Wurzeln u. dgl., die bei ihrer Fäulnis Kohlensäure erzeugen. Diesen Stoff nimmt das Sickerwasser auf und führt ihn mit sich in die Tiefe, wo er ihm als Zersetzungsmittel vieler Gesteine und Mineralien dient. Wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, entwickelt sich Kohlensäure auch in den Stein- und Braunkohlenlagern, indem ein Teil des pflanzlichen Kohlenstoffs sich mit dem Sauerstoff der Holzfaser zu Kohlensäure verbindet. Dieser Vorgang verläuft jedoch so langsam — sind doch Jahrmillionen nötig, um ein urweltliches Pflanzenlager in Steinkohle überzuführen! — daß die geringe, etwa an einem Tage gebildete Kohlensäuremenge leicht vom zirkulierenden Grundwasser aufgenommen und fortgeführt werden kann; daher wird man in Kohlenbergwerken selten größere Ansammlungen des Gases antreffen.

Auch bei der Zersetzung von Kalkstein, also kohlensaurem Kalk, kann Kohlensäuregas frei werden, z. B. wenn heiße Kieselquellen das Gestein durchdringen. Das sind aber Ausnahmefälle, auf die wir hier nicht näher eingehen wollen.

Zerreibt man ein frisches Stück *Granit* im Mörser und schüttelt das Pulver mit gewöhnlichem Wasser, so löst sich darin so gut wie nichts. Das Gestein scheint völlig unangreifbar. Selbst bei Anwendung von heißem Wasser ist der Erfolg fast ebenso geringfügig. Das ändert sich aber, wenn man die Flüssigkeit mit dem Granitpulver wochen- oder monatelang stehen läßt, sie dann abfiltriert und chemisch untersucht; jetzt zeigt sich, daß gewisse Bestandteile des Granits sich im Wasser gelöst haben, namentlich Alkalien, Kalk und Magnesia, wenn auch deren Menge noch immer gering ist. Viel kräftiger wirkt, dank seinem Gehalt an *Sauerstoff* (der aus der Atmosphäre stammt) und *Kohlensäure*, das natürliche Sickerwasser auf die Gesteine ein. Selbst aus den härtesten kristallinischen Felsarten laugt es den Kalk, die Magnesia, das Eisen, Kali und Natron mehr oder minder vollständig heraus; diese Mineralstoffe (Metalloxyde) verbinden sich dann mit der Kohlensäure zu *kohlensauren Salzen*, die ja im Quellwasser eine so große Rolle spielen.

Den Sauerstoff benutzt das Wasser, um gewisse, ganz unlösliche Mineralien in lösliche zu verwandeln. So wird *Eisenkies* (das ist eine Verbindung von einem Atom Eisen mit zwei Atomen Schwefel) durch Einwirkung des Sauerstoffs in *schwefelsaures Eisen* oder *Eisenvitriol* übergeführt. Ähnlich entsteht aus *Kupferkies* (der aus Kupfer, Eisen und Schwefel zusammengesetzt ist) *Kupfer- und Eisenvitriol*. Diese Vitriole oder schwefelsauren Metallsalze sind im Wasser leicht löslich und treten nun in Wechselwirkung mit den obengenannten kohlensauren Salzen. *Die Säuren werden ausgetauscht*, d. h. es entstehen kohlensaure Metallsalze (in Mineralquellen sehr häufig) und schwefelsaure Kalk-, Magnesia- und Alkalisalze, die fast in jedem Quellwasser vorkommen. Das kohlensaure Eisen ist der wirksame Bestandteil der sogenannten *Stahlquellen*, während Quellen mit reichem Gehalt an schwefelsaurer Magnesia als *Bitterwasser* bezeichnet werden.

Wir haben dem Leser nur eins der allereinfachsten Beispiele chemischer Umsetzung vorgeführt. In den großartigen unterirdischen Werkstätten des Wassers stehen feste und flüssige Mineralstoffe, Lösungen und Dämpfe in beständiger Wechselwirkung, und die Reaktionen, die sich hier abspielen, sind so zahllos und verwickelt, daß uns vorderhand noch jeder Überblick fehlt. Hat das Sickerwasser in einer bestimmten Gesteinschicht alles gelöst, was es auflösen konnte, so wandert es weiter in anders zusammengesetzte Felslagen, wo es neue Zersetzungen und Umwandlungen einleitet. Seine Temperatur nimmt zu, je tiefer es hinabgelangt, wodurch manche chemische Reaktionen möglich werden, die in den kalten Oberflächenschichten undenkbar sind. Dazu kommt noch das Zusammentreffen mit Wasserströmen, die andere Felsschichten passiert haben, also auch andere Stoffe in Lösung halten, und mit *juvenilen* Gewässern und Dämpfen, die aus unbekannter Tiefe aufsteigen, — kurz das Erdinnere ist in chemischer Hinsicht wirklich das Land der unbegrenzten Möglichkeiten, wo man niemals mit Sicherheit voraussagen kann, was unter diesen und jenen Bedingungen geschehen wird.

Weit einfacher verläuft die Einwirkung des Wassers auf gewisse Gesteine, die ihm bei der Auflösung verhältnismäßig geringen Widerstand

entgegensetzen. Es sind dies Steinsalz, Gips und Kalkstein. Steinsalz ist bekanntlich der gleiche Körper wie unser gewöhnliches Kochsalz, das sich ja schon in kaltem Wasser mit Leichtigkeit auflöst. Man sollte also meinen, alle in älteren Perioden gebildeten Steinsalzlager müßten längst von den unterirdischen Gewässern aufgezehrt und fortgeschwemmt worden sein. Dies war gewiß in vielen Gegenden der Fall; die zahlreichen, oft sehr ergiebigen Solquellen zeigen uns, wie unablässig das Wasser noch heute bemüht ist, die unterirdischen Salzvorräte zu vermindern. Demgegenüber scheint es kaum begreiflich, daß die tausend und mehr Meter mächtigen Salzlager der Permzeit, z. B. bei Sperenberg unweit Berlin, bei Staßfurt und anderen Orten Mitteldeutschlands, Jahrmillionen hindurch bis in die Gegenwart erhalten geblieben sind. In Nordamerika und der indischen Salt Range gibt es sogar aus der Silurzeit stammende Steinsalzlagerstätten! Die Lösung dieses scheinbaren Rätsels ist einfach: fast alle größeren Salzlager werden von undurchlässigen Tonschichten bedeckt, die dem Sickerwasser den Zutritt wehren.

Auch innerhalb vieler Salzformationen wechsellagert das eigentliche Steinsalz in vielmaliger Wiederholung mit tonigen Zwischenlagen. Die berühmte Lagerstätte von Staßfurt, wo bekanntlich auch die als Dungmittel unschätzbaren Kalisalze gewonnen werden, ist durch Tonschichten so hermetisch gegen das Sickerwasser abgeschlossen, daß selbst Salze wie Chlorkalzium und Chlormagnesium, die schon an feuchter Luft zerfließen und zergehen, vollkommen trocken geblieben sind. Und das, wie gesagt, seit der 10 bis 20 Jahrmillionen zurückliegenden Permzeit!

Nicht so leicht wie Steinsalz erliegt der Gips den Angriffen des Wassers; da er jedoch meist durch und durch zerklüftet ist, so findet das Sickerwasser zahllose offene Wege vor, auf denen es bis ins Innerste des Gesteins vordringen kann. Manche dieser Klüfte werden vom Wasser zu großen Hohlräumen, den sogenannten Gipsschlotten, erweitert. Die schönste Gipshöhle Deutschlands ist die Barbarossahöhle am Südabhang des Kyffhäusers. Sie wurde erst 1865 durch Zufall entdeckt, als man auf der Suche nach Erz einen Stollen in das Gipsgestein des Berges trieb; den Anlaß zur Entstehung der Sage vom schlafenden Kaiser Rotbart kann sie also nicht gegeben haben. Die natürliche Verbindung mit der Erdoberfläche stellen ein paar enge, für den Menschen ganz unpassierbare Spalten her. Um so erstaunlicher sind die weiten domartigen Hallen, die das Wasser im Berginnern durch Auflösung des Gipses geschaffen hat. Merkwürdige Gipsgebilde, die Gerberei, der Wolkenhimmel usw., fesseln das Auge des Besuchers. An der Decke biegt sich das weiche Gestein unter der eigenen Schwere und bildet herabhängende „Fahnen" und „Gardinen", die früher an manchen Stellen bis auf den Boden der Grotte niedersanken.

Den eigenartigsten Schmuck der Höhle machen die kleinen, kristallklaren Teiche aus, deren Wasser so durchsichtig ist, daß man es beim Schein der elektrischen Bogenlampen von der umgebenden Luft kaum unterscheiden kann. Nur mit Mühe erkennt man, wo der feste Grund endigt und der Wasserspiegel beginnt; langsam schreitet man auf einer Art Damm zwischen zwei Wasserbecken durch, unsicher, ob nicht im nächsten Augenblick der Fuß von dem unsichtbaren Naß benetzt wird. Diese außerordentliche Durchsichtigkeit des Höhlenwassers beruht weniger auf seinem reichen Gehalt an aufgelöstem Gips als auf dem Umstand, daß es ganz frei von organischen Verunreinigungen, von beigemengtem Schlamm und Staub, ist.

Die Entstehung so ausgedehnter Gipshöhlen wird begreiflich, wenn man bedenkt, welch bedeutende Mengen Gips manche Quellen heraufbringen. Die Lorenzquelle zu Leukerbad (Wallis) entzieht den durchströmten Gesteinschichten jährlich nicht weniger als vier Millionen Kilogramm Gips, was so viel ausmacht, als löste sie jährlich ein Gipslager von etwa 2300 Kubikmeter Rauminhalt vollständig auf.

Vielfach beobachtet man, daß die gleiche geologische Kraft zerstört, was sie erst vor kurzem mühselig geschaffen hat. Das Kapitel „Gips und Wasser" liefert hierfür ein neues Beispiel. Es gibt ein Gestein, das die Sickerwasser erst langsam in Gips verwandeln, um dann später diese Neubildung aufzulösen und fortzuführen.

Das Gestein heißt Anhydrit und ist seiner chemischen Zusammensetzung nach wasserfreier schwefelsaurer Kalk. Er tritt namentlich in Gesellschaft des Steinsalzes auf, so bildet er im Staßfurter Salzlager unzählige, meist nur papierdünne, dem Steinsalz eingeschaltete Zwischenlagen. Körniger Anhydrit ist körnigem Kalk oder Dolomit zum Verwechseln ähnlich und kommt wie dieser als Einlagerung in Schichtgesteinen und metamorphosierten Schiefern vor. Die mächtigsten und wichtigsten Vorkommen von Anhydrit stammen aus dem Perm, der Trias und dem Tertiär.

Anhydrit ist in vielen Fällen als *Muttergestein des Gipses* anzusehen. Wenn Wasser mit ihm in Berührung kommt, nimmt er allmählich so viel davon auf, daß die Menge ein Viertel seines eigenen Gewichtes ausmacht. Dabei handelt es sich keineswegs um ein mechanisches Aufsaugen, wie man es z. B. an trockenem, ins Wasser getauchtem Sandstein beobachtet, sondern um einen tiefergreifenden Vorgang, bei dem sich der ganze molekulare Aufbau des Minerals ändert. Ein Molekül Anhydrit verbindet sich mit zwei Molekülen Wasser, kein freier Raum vorhanden ist, wird der anschwellende, in Gips übergehende Anhydrit die auf ihm lastenden Schichten nach oben drängen, knicken, aufwölben und zugleich infolge des Gegendrucks sich selbst in Falten legen. Abb. 224 zeigt uns derart gefaltete, aus Anhydrit hervorgegangene Gipsschichten. Die hierbei entwickelte Kraft genügt, um fremde, im Anhydrit steckende Kristalle (z. B. von Quarz) zu zersprengen, von denen man dann im Gips nur noch die auseinander gerissenen Bruchstücke vorfindet.

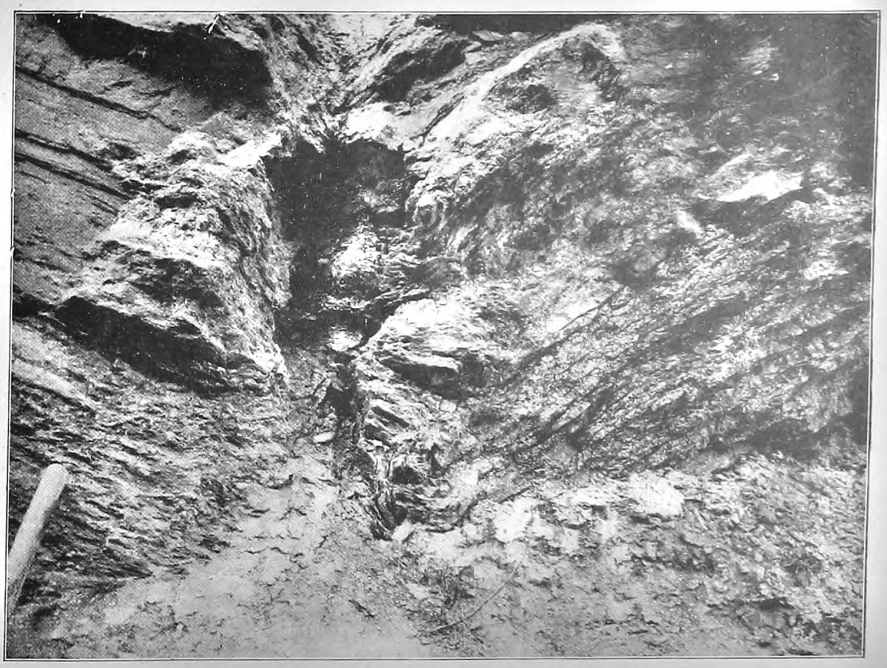


Abb. 224. Gips. Untertürkheim.

und dieses neue, erheblich vergrößerte Molekül stellt nun einen ganz anderen Körper dar, es ist *Gips*. Bei der Umwandlung wechselt auch das Kristallsystem (Gipskristalle besitzen einen niedrigeren Grad der Symmetrie), und das Mineral wird so weich, daß man es mit dem Fingernagel ritzen kann.

Der so entstandene Gips nimmt etwa den 1—1¼fachen Raum ein wie sein Muttergestein, der Anhydrit, was den Anlaß zu einer interessanten Erscheinung gibt. Überall wo ein von anderen Schichten bedecktes Anhydritlager mit dem Sickerwasser in Berührung kommt, muß es sich *aufblähen*, und da in der Regel

Diese Erscheinungen sind in mehr als einer Hinsicht bemerkenswert. Haben wir doch früher ähnliche Aufwölbungen und Zerreißungen der Schichten als charakteristisches Merkmal *vulkanischer Hebungen*, zumal der *Lakkolithbildung*, kennen gelernt (S. 93). Jetzt also sehen wir, wie auch ohne jedes Zutun vulkanischer Kräfte durch langsames Anschwellen einer Schichtmasse die gleiche Wirkung erzielt wird. Da kann man es den alten Geologen kaum übelnehmen, wenn sie den Gips seiner hebenden Kraft wegen für ein vulkanisches Gestein hielten; hatte man doch damals von der Gewalt und vom Wesen der Molekularkräfte

noch ganz ungenügende Vorstellungen. Lehrreich ist ferner die starke Faltung der Gipsschichten, von denen uns die auf S. 255 stehende Abb. ein Beispiel zeigt. Wer nie etwas von der Entstehung des Gipses aus Anhydrit gehört hat, könnte wohl meinen, die merkwürdigen Krümmungen und Verbiegungen seien wie die Falten der Kettengebirge von tektonischen Kräften erzeugt worden. Aber das Gegenteil ist richtig! Die „tektonische" Faltung beruht auf einem Zusammenschub der Erdrinde, während die Gipsschichten durch Ausdehnung in jenen verworrenen Zustand versetzt worden sind.

längst bis zu einer beträchtlichen Tiefe der Umwandlung anheimgefallen.

Noch viel schwerer löslich als Gips ist der Kalkstein. Reines Wasser löst auch bei langandauernder Wirkung nur unbedeutende Spuren, und selbst von kohlensäurehaltigem Wasser sind 1000 Gewichtsteile nötig, um ein Teil Kalk aufzulösen. Trotzdem finden wir überall in der Natur, wo das Gestein den Angriffen des Wassers zugänglich ist, die deutlichsten Anzeichen einer weit vorgeschrittenen Auflösung. Die Widerstandsfähigkeit des Kalkgesteins wird besiegt durch die Masse des tagaus, tagein in

Abb. 225. Zersetzung des Weißjurakalkes durch Sickerwasser. Aufschluß an der Weißensteiner Steige, Oberamt Geislingen a. d. Steige (Württ.).

In Anhydritbergwerken verursacht die langsame, unwiderstehliche Aufblähung des Gesteins eine dem Bergmann sehr unbequeme Erscheinung: die Schachte und Stollen, die er ausgehauen hat, wachsen allmählich wieder zu und müssen, um fahrbar zu bleiben, von Zeit zu Zeit erweitert werden. Die Ausdehnung des in Gips übergehenden Gesteins ist auch der Grund, warum die meisten Gipsstöcke so enorm zerklüftet sind, ein Umstand, der, wie wir gesehen haben, die Höhlenbildung außerordentlich begünstigt.

Unmittelbar an der Erdoberfläche kann kein Anhydrit bestehen, nicht einmal in ganz regenarmen Landstrichen. Wo in unseren Gegenden früher Anhydritberge zutage traten, sind sie

seinen Klüften und Schichtfugen zirkulierenden Sickerwassers. Die Härte der in Kalkgebirgen entspringenden Quellen ist der schlagendste Beweis, wie das Wasser den Kalkfels in der Tiefe langsam, aber ohne Unterlaß verzehrt (ein Beispiel siehe auf S. 173).

Die obenstehende Abbildung veranschaulicht in vorzüglicher Weise, wie diese Zersetzung von oben nach unten fortschreitet. Die höchsten Schichten des Weißjurakalkes sind schon in lauter einzelne, kleine Blöcke zerlegt, deren Zwischenräume der hinabgesunkene Verwitterungsboden ausgefüllt hat. Weiter unten sehen wir den Fels von zahlreichen Klüften durchsetzt, dem Anfangsstadium des Zerfalls, das darunter-

liegende, noch frische Gestein ist nicht mehr aufgeschlossen. Die Zerstörung tritt am augenfälligsten in der Mitte des Bildes hervor, weil sich hier eine Terrainmulde befindet, der das Sickerwasser von beiden Seiten zuströmt. Daher sammeln sich hier die größten Wassermengen und geht die Auflösung am raschesten vonstatten.

Die merkwürdigen, vom Regen- und Schneewasser erzeugten Verwitterungsformen des Kalksteins an der Erdoberfläche (Karrenfelder usw.) wurden schon früher besprochen (S. 171).

Die gewöhnlichen Quellen verdanken ihre geringen Salzmengen der Auslaugung der Gesteinschichten, — daran ist nicht zu zweifeln. Aber auch viele Mineralquellen erwerben sich ihren Salzgehalt auf dem gleichen Wege.

Einige Beispiele hierfür haben wir schon kennen gelernt, vor allem die Solquellen. Das Land zwischen Halle, Magdeburg und Hannover ist durch mächtige Steinsalzlager ausgezeichnet, und hier treten nun wirklich zahlreiche Kochsalzquellen zutage, von denen Bernburg, Suderode, Salzdetfurth, Salzderhelden, Salzuflen, Oeynhausen, Pyrmont genannt seien. Allerdings entspringen nicht alle Solquellen den Salzlagerstätten selbst, sondern zum Teil gewissen tonigen und mergeligen Schichten, die neben mancherlei anderen löslichen Mineralstoffen auch etwas Kochsalz enthalten. In allen Sedimenten, die sich am Meeresboden bilden, setzt sich natürlich auch Seesalz ab. Die meisten Ablagerungen verlieren diesen leichtlöslichen Bestandteil im Lauf der Diagenese (vgl. S. 153), in einzelnen geschützt lagernden Schichten bleibt er jedoch erhalten. Erst später, vielleicht nach Jahrmillionen, findet das Sickerwasser Zutritt, nimmt das alte Seesalz langsam auf und führt es als Solquelle der Erdoberfläche zu. Auch die böhmischen und ungarischen Bitterquellen, z. B. der berühmte Hunyadi-Janos-Brunnen, sind nichts weiter als „mineralisiertes Grundwasser", das seinen beträchtlichen Gehalt an schwefelsauren Salzen den Gesteinen des Untergrundes entnimmt. Dies sind weiche Schichten (sogenannte Tegel) von eozänem Alter, die aus feinem Dolomitstaub, zersetztem Liparit und Eisenkies in feinster Verteilung bestehen. Außerdem findet sich überall Gips in größeren und kleineren Massen. Dies sind alle für die Entstehung des Bitterwassers notwendigen Stoffe. Im einzelnen spielen sich nun wahrscheinlich folgende Vorgänge ab (nach R. Delkeskamp).

Beim Zutritt der sauerstoffhaltigen Sickerwasser verwittert der Eisenkies; sein Schwefel wird durch Aufnahme von Sauerstoff zu Schwefelsäure, und diese tritt mit dem Dolomitstaub in Wechselwirkung. Dolomit ist bekanntlich aus kohlensaurer Magnesia und kohlensaurem Kalk zusammengesetzt; die starke Schwefelsäure vertreibt nun die schwache Kohlensäure und verbindet sich selbst mit der Magnesia zu Bittersalz, mit dem Kalke zu Gips. Das gesamte Bittersalz sowie ein Teil des Gipses gehen in Lösung und verleihen den Quellen ihren eigentümlichen Geschmack und Charakter. Die verdrängte Kohlensäure bleibt in der Hauptsache frei (gasförmig) und mischt sich dem Wasser bei, dessen Steigkraft dadurch befördert wird.

Nun enthalten die Bitterwasser aber noch Alkalien, Chlor, Phosphor- und Kieselsäure. Diese Stoffe stammen aus dem zersetzten Liparit, der bekanntlich in chemischer Hinsicht dem Granit sehr nahe steht. Bei den genannten chemischen Vorgängen erwärmen sich die Gesteinschichten beträchtlich und geben einen Teil ihrer Wärme an das Wasser ab, daher die erhöhte Temperatur der fertigen Mineralquellen. —

So einfach wie bei diesen Bittersalzquellen liegen die Verhältnisse selten. Es ist in manchen Fällen ganz unmöglich, gewisse, stark hervortretende Bestandteile der Mineralquellen von den Gesteinen des Untergrundes abzuleiten. Unverständlich bliebe z. B. der bedeutende Kalkgehalt der Wiesbadener Thermen, ebenso der auffällige Kochsalzgehalt des Karlsbader Sprudels. Überhaupt läßt sich der Salzreichtum vieler Mineralquellen gar nicht durch bloße Auslaugung der Gesteinschichten erklären. Das Grundwasser besitzt zumeist nur einen schwachen Kohlensäuregehalt, und die Auflösung des durchströmten Gesteins geht demgemäß sehr langsam vonstatten. Der Wiesbadener Kochbrunnen fördert aber jährlich rund 1650000 kg gelöste Mineralstoffe, der Karlsbader gar an 6 Millionen kg zutage! Wie wäre es möglich, daß die Sickerwasser eine so ungeheure Arbeit leisteten!

Die Sickerwasser können es gewiß nicht. Aber das heiße, juvenile Wasser, das von den vulkanischen Herden aufsteigt, ist wohl fähig, in verhältnismäßig kurzer Zeit bedeutende Felsmassen zu zersetzen und auszulaugen. Dabei kommt ihm nicht nur seine hohe Temperatur, sondern auch sein Gehalt an Gasen, namentlich an sauren Gasen, zustatten. Manche heiße und halbwarme Mineralquellen mögen ihre Salze auf diese Weise erwerben. Bei anderen genügt

diese Erklärung nicht, weil sie gewisse Stoffe enthalten, die im Untergrund gar nicht oder nur sehr spärlich vorkommen, also auch nicht ausgelaugt werden können.

Ein solcher Stoff ist das Kochsalz (Chlornatrium). Wo Steinsalzschichten am Aufbau der Gegend teilnehmen, ist seine Herkunft ja leicht zu erklären, aber z. B. im Gebiet von Karlsbad finden sich nur Granit und jungvulkanische Gesteine, und selbst der verbissenste Neptunist wird die Behauptung nicht wagen, daß tief unter dem Granit salzführende Sedimente verborgen wären. Das Kochsalz der Karlsbader Thermen muß aus der magmatischen Zone stammen, es ist juvenil sogut wie das Wasser, in dem es gelöst ist. Diese Auffassung findet ihre Stütze in dem Umstande, daß Kochsalz eins der gewöhnlichsten Erzeugnisse vulkanischer Fumarolentätigkeit ist.

Bekanntlich haucht die erkaltende Lava — mag sie im Krater stecken oder im Strom einen Ausfluß gefunden haben — bedeutende Mengen von Gasen und Dämpfen aus, deren chemischer Charakter sich mit fortschreitender Erkaltung ändert. Man kann daher verschiedene Entwicklungsstufen oder „Phasen" der Fumarolentätigkeit unterscheiden, von denen uns hier nur die früheste, heißeste Phase interessiert. Während bei allen späteren Phasen gewaltige Massen von Wasserdampf dem erstarrenden Schmelzfluß entströmen, sind die Gase des ältesten Stadiums vollkommen trocken; sie bestehen aus wasserfreien Chlorverbindungen, unter denen das Kochsalz den ersten Platz behauptet. Enthalten doch die trockenen Fumarolen des Vesuvs oft 90% und mehr Kochsalz, daneben auch eins der wichtigsten Kalisalze, das Chlorkalium! Nach manchen Ausbrüchen bedecken diese Salze wie feiner, frischgefallener Neuschnee den oberen Teil des Aschenkegels; doch hält sich der glänzende Schmuck nur kurze Zeit, schon der nächste Regenguß wäscht ihn spurlos fort.

Solange bei den Vulkanologen die Annahme galt, daß eindringendes Meerwasser die Ausbrüche bewirke (vgl. S. 115), glaubte man natürlich, das Kochsalz stamme aus derselben Quelle; es sei das ursprünglich im Meerwasser enthaltene, durch die Hitze der vulkanischen Esse von ihm getrennte und in Dampf verwandelte Seesalz. Das war in der Tat eine sehr einfache Erklärung, die nur den Fehler hatte, auf einer ganz unmöglichen Voraussetzung zu fußen. Wenn wirklich das Meerwasser dem vulkanischen Magma gewisse Salze zuführte, so müßte es im flüssigen Zustand mit dem glühenden Brei in Berührung kommen; das ist aber im allgemeinen ganz undenkbar, denn bevor die Berührung einträte, hätte sich das Wasser beim Passieren der heißen Erdschichten längst in Dampf verwandelt. Wasserdampf kann höchstens Spuren von Salz mit sich führen, keinesfalls so bedeutende Mengen, wie sie die erkaltende Lava aushaucht. Nur wenn ein ganzer, im Meer gelegener Vulkanberg plötzlich aufklafft, was aller Wahrscheinlichkeit nach die Ursache der Krakatau-Katastrophe war, liegt die Möglichkeit vor, daß flüssiges Meerwasser unmittelbaren Zugang zum vulkanischen Herde findet.

Abgesehen von dergleichen seltenen Vorfällen haben wir den Ursprung des vulkanischen Kochsalzes sicher im Magma selbst zu suchen. In einem gewissen Stadium der Erkaltung bildet sich in dem glühenden Brei massenhaftes Chlornatrium, das wegen der großen Hitze (die trockenen Fumarolen besitzen eine Temperatur von rund 500 Grad) nur in Dampfform bestehen kann und sofort entweicht, wenn es einen Ausweg findet. Diesen Vorgang beobachten wir an den Lavaströmen der Gegenwart, er spielt sich aber jedenfalls, vor unseren Augen verborgen, auch in der Tiefe ab. Die dem Magma entquellenden Kochsalzdämpfe steigen in kältere Erdschichten empor, durchtränken deren Gestein und verfestigen sich. So entstehen in der Tiefe juvenile Steinsalzlager, deren Existenz uns nur durch den Kochsalzgehalt der heißen Quellen verraten wird.

Wie oben erwähnt, sind die späteren Phasen der Fumarolen durch Vorherrschaft des Wasserdampfes ausgezeichnet. Wenn nun die Erstarrung eines vulkanischen Herdes fortschreitet, wird er an Stelle der trockenen Chlorverbindungen (Kochsalz usw.) gewaltige Mengen feuchter Dämpfe abgeben, die ebenfalls nach oben steigen und auf das früher abgelagerte Steinsalz treffen. Dieses wird von ihnen aufgelöst und, nachdem die Dämpfe sich zu Heißwasserströmen verdichtet haben, den oberen Regionen der Erdkruste zugeführt.

Für den Kochsalzgehalt des Magmas gibt es noch einen zweiten Beweis. Betrachtet man den Dünnschliff eines Granits unter dem Mikroskop, so sieht man im Quarz eine Unmasse feiner Punkte, die in der Regel reihenförmig angeordnet sind (siehe Abb. 119 S. 128). Bei Anwendung sehr starker Vergrößerungen stellt sich heraus, daß die Punkte in Wirklichkeit winzige Flüssigkeitseinschlüsse sind, oft mit einem Luft-

bläschen (Libelle), das beim Klopfen auf den Objekttisch in schaukelnde Bewegung gerät. Durch sorgfältige chemische Prüfung ist es in manchen Fällen gelungen, den Charakter der rätselhaften Tröpfchen zu ermitteln: sie bestehen wenigstens zum Teil aus Salzwasser. Ja, bisweilen haben sich aus der Salzlauge äußerst winzige Kochsalzkristalle abgeschieden, regelrechte Würfel, die allerdings nur unter der stärksten Vergrößerung kenntlich werden.

Wie kommen die Kochsalztropfen in den Quarz? Offenbar bildeten sie sich in dem schmelzflüssigen Brei, als der Granit schon größtenteils erstarrt war; denn die älteren, zuerst kristallisierten Gemengteile (Glimmer, Feldspat) enthalten nichts davon. Wie feine Öltröpfchen im Wasser mögen sie in dem Quarzfluß geschwommen haben, ohne sich mit ihm zu vermischen; und als endlich der Quarz sich verfestigte, womit die Bildung des Granits vollendet war, wurden sie von der kristallisierenden Kieselsäure umschlossen und als letzte Reste des flüssigen Magmas in das feste Gestein übernommen.

Außer Kochsalztropfen hat der erstarrende Quarz noch Unmengen winziger Kohlensäurebläschen „eingefangen", die in ihrer Gesamtheit eine milchige Trübung des Minerals verursachen. Durch den starken Druck im Innern scheint die Kohlensäure bisweilen verflüssigt zu sein. Um sie von anderen Flüssigkeiten, z. B. den Kochsalztropfen, zu unterscheiden, erwärmt man das Präparat auf 31° C, den „kritischen Punkt" der Kohlensäure, dann vergast diese unbedingt, und die Libelle verschwindet, während bei Kochsalzeinschlüssen gar keine Veränderung bemerklich wird.

Um den Kochsalzgehalt der Karlsbader Thermen zu erklären, sind wir auf das Gebiet der vulkanischen Erscheinungen abgeschweift und können nunmehr feststellen, daß jenes Kochsalz zweifellos juvenilen Ursprungs ist. Wie verhält es sich aber mit den übrigen Mineralstoffen des Karlsbader Wassers? Die Thermen sind seit alters berühmt durch ihre Sprudelschale, eine mächtige, im Lauf der Jahrtausende abgesetzte Kalksintermasse, auf der ein ganzes Viertel der Stadt Karlsbad erbaut ist. Dieser Sprudelstein ist kein Kalkspat, wie z. B. der ähnlich entstandene Sauerwasserkalk von Cannstatt, sondern aus einer anderen Abart des kohlensauren Kalkes, aus rhombisch kristallisierendem Aragonit, zusammengesetzt. Seine Bildung hat man sich genau so zu denken wie die der Kalktuffe (vgl. S. 163): im Quellwasser lebende Algen entziehen dem Wasser Kohlensäure, wodurch ein bedeutender Teil des bis dahin gelösten Kalkes ausgefällt wird. Warum sich in diesem Falle Aragonit abschied und nicht Kalkspat, ist eine noch ungelöste Frage.

Der Karlsbader Sprudelstein, von dem in allen Mineraliensammlungen prächtige Stücke zu sehen sind, zeigt faseriges Gefüge und eigenartige gelbbraune Färbung, die von seinem Eisengehalt herrührt. Daneben hat der Sprudel stellenweise den sogenannten Erbsenstein abgesetzt, eine aus lauter erbsengroßen Aragonitkügelchen zusammengekittete Mineralbildung, die im Aussehen an die bekannten Oolithe der Braunjuraformation erinnert und auch wohl auf ähnliche Weise entstanden ist.

Abgesehen vom kohlensauren Kalk fördern die Karlsbader Quellen ungeheure Mengen von kohlensaurem Natron (jährlich fast 1½ Millionen Kilogramm) und Glaubersalz (schwefelsaures Natron, jährlich etwa 2½ Millionen Kilogramm). Letztgenanntem Salz verdankt bekanntlich der Karlsbader Brunnen seine heilsame, die Verdauung anregende Wirkung. Es hat seinen Namen von dem Arzt und Chemiker Glauber, der es um 1640 in den Arzneischatz einführte und ihm so wunderbare Heilkräfte zuschrieb, daß er es „sal mirabile, Wundersalz" nannte. Beim Glaubersalz und den anderen obengenannten Stoffen kann man zweifeln, ob sie von vulkanischen Ausströmungen herrühren oder von der Auslaugung des Granits durch die heißen Wasser. Ihre Masse ist so kolossal, daß man wohl annehmen darf, es wirken beide Ursachen zusammen. Vielleicht stammt das Natron des Glaubersalzes aus dem zersetzten Granit, während der zur Bildung der Schwefelsäure notwendige Schwefel in Form von Schwefelmetalldämpfen aus der Tiefe emporsteigt. So kann es sich verhalten, aber auch andere Möglichkeiten sind denkbar, und man darf wohl zweifeln, ob es der Wissenschaft je gelingen wird, die Fabrikationsgeheimnisse dieser großartigen Mineralwasserwerkstatt aufzuklären.

Einen deutlichen Fingerzeig liefern uns dagegen gewisse untergeordnete Quellsalze, deren Grundstoffe sich in vulkanischen Fumarolen wiederfinden, wie Fluor, Bor, Phosphor, das dem Schwefel verwandte Selen, ferner Arsen und Antimon, die gewöhnlichen Begleiter der Schwefelerze, endlich in sehr kleiner Menge einige seltene Metalle, wie Thallium, Rubidium und Zäsium. Alle diese Grundstoffe kommen im Granit entweder gar nicht oder in zu geringer Menge vor, als daß sie

durch Auslaugung in das Quellwasser gelangt sein könnten. Für sie wird man unbedingt Zufuhr aus der Tiefe annehmen, sie sind, wie Ed. Sueß sich ausdrückt, Produkte der fortschreitenden Entgasung unseres Planeten.

Die Heilwirkung der Mineralquellen beruht mitunter auf einem ganz geringfügigen Gehalt an etwas selteneren Stoffen, z. B. Brom- und Jodsalzen, Lithium-, Barium-, Strontiumverbindungen usw. Früher hat man die Gegenwart dieser Salze in vielen Fällen gar nicht gekannt oder wenigstens nicht beachtet; je schärfer nun die Methoden der chemischen Analyse werden, desto häufiger gelingt es, auch ganz seltene Stoffe wie Rubidium, Zäsium und Thallium in den Heilquellen nachzuweisen. Mit der Wirkung der Trink- und Badewasser auf den menschlichen Körper beschäftigt sich ein eigener Zweig der Medizin, die Balneotherapie. Wenn nun auch die modernen physikalisch-chemischen Untersuchungsmethoden manches Rätsel gelöst haben, ist die Wissenschaft doch noch lange nicht so weit, daß sie uns über den Heilwert der einzelnen Quellsalze genaue Auskunft geben kann. In der bunten Zusammensetzung der Mineralwasser sind wahrscheinlich gerade manche untergeordnete, nur in verschwindend kleiner Menge anwesende Stoffe von hervorragender physiologischer Wirkung. Ja in manchen Fällen dürfte man mit der Annahme kaum fehlgehen, daß die eigentlich wirksamen Bestandteile noch gar nicht bekannt sind. Wußte man doch vor wenigen Jahren noch nichts vom Radiumgehalt der Quellen, dem jetzt so hervorragende Heilerfolge zugeschrieben werden.

Jeder Chemiker kann leicht eine Salzlösung herstellen, die in ihrer Zusammensetzung ganz genau einem beliebigen Mineralwasser, z. B. dem Karlsbader Brunnen, entspricht. Auch die freie Kohlensäure und andere im Quellwasser enthaltene Gase lassen sich hineinbringen. Aber selbst das beste Kunstprodukt dieser Art wird sich nie an Heilkraft mit dem natürlichen Brunnen messen können. Man denke an das vielgebrauchte künstliche Karlsbader Salz, das zwar gewisse Wirkungen hervorbringt, aber hinter der echten, durch Abdampfen des natürlichen Mineralwassers gewonnenen Salzmischung weit zurücksteht! Woran das eigentlich liegt, kann niemand mit Sicherheit erklären.

Und selbst das echte Quellsalz ist in seiner Wirkung wiederum verschieden vom „lebendigen" Brunnen, aus dem es doch ohne irgendwelche Zutaten hergestellt wird. Auch weiß jedermann, daß eine Brunnenkur am Ursprungsort der Quelle selbst viel erfolgreicher und heilsamer ausfällt, als wenn der Patient in seiner Heimat bleibt und nur das auf Flaschen gefüllte „Versandwasser" trinkt. Hier sind ja mancherlei Dinge von Wichtigkeit, die Luftveränderung, die andere Kost, die mannigfachen Reiseeindrücke und Anregungen des Badelebens, endlich die von vielen Badeärzten so stark betonte Suggestionswirkung, aber auch der Brunnen ist ein anderer, je nachdem er direkt aus dem Quell geschöpft oder erst nach wochen- und monatelangem Lagern getrunken wird. Es fehlt der „Brunnengeist", — aber was ist das? Sind es Gase, die beim Abfüllen sich verflüchtigen, sind es Emanationen oder unbekannte, mit den heutigen Hilfsmitteln nicht nachweisbare Fluida?

Neue, früher ungeahnte Ausblicke in dieser Richtung gewährt die seit einigen Jahren nachgewiesene Radioaktivität zahlreicher Quellen.

Radioaktive Stoffe senden bekanntlich Strahlen aus, die das Vermögen besitzen, Gase, also auch die atmosphärische Luft, elektrisch leitend zu machen. Ein geladenes Elektroskop, das in gewöhnlicher Zimmerluft seine Ladung längere Zeit behalten würde, verliert sie schnell, wenn die umgebende Luft von Radiumstrahlen getroffen wird. Dieses Verfahren benutzt man, um die winzigsten Mengen radioaktiver Stoffe nachzuweisen, die, selbst wenn sie tausendmal größer wären, der chemischen Analyse entgehen würden.

Mehrere Forscher, in Deutschland der Freiburger Physiker F. Himstedt, haben fast gleichzeitig die Beobachtung gemacht, daß Luft, die man durch Wasser perlen läßt, an elektrischer Leitfähigkeit zunimmt. Wie sich aber bald herausstellte, besitzt keineswegs jedes Wasser diese „induzierende" Eigenschaft. Alles Quellwasser sowie frisch heraufgeholtes Grundwasser macht die hindurchgepreßte Luft leitend, während Teich-, See- und Flußwasser es nicht tut. Weitere Versuche bewiesen, daß in dem induzierenden Wasser ein radioaktives Gas, eine Emanation enthalten ist, die von der durchgepreßten Luft mitgenommen wird. Läßt man die gleiche Luftmenge mehrere Male hintereinander durch das Wasser strömen, so gelingt es, ihm fast die ganze Emanation zu entziehen. Die hindurchgepreßte Luft besitzt nun eine bestimmte elektrische Leitfähigkeit, die, in Zahlen ausgedrückt, ein Maß für die Radioaktivität des Wassers liefert.

Der gleiche Vorgang vollzieht sich auch ohne Zutun des Menschen, wenn das Wasser längere Zeit an freier Luft steht; dann entweicht allmählich das radioaktive Gas, die Emanation „klingt ab". Daher enthält gewöhnliches Fluß- und Seewasser keine Emanation mehr. Auch die Tatsache, daß der frisch aus der Quelle getrunkene Brunnen kräftiger wirkt als das abgelagerte Versandwasser, findet vielleicht im „Abklingen" der Emanation ihre Erklärung; denn Glas oder Steingut ist für radioaktive Strahlen bis zu gewissem Grade durchlässig, die Emanation muß also selbst aus geschlossenen Gefäßen allmählich entweichen. Danach scheint es, als hätten wir den geheimnisvollen „Brunnengeist" gepackt, er wäre kein überirdisches Fluidum, sondern die vollkommen materielle, im Wasser gelöste Emanation. Nur müßte noch bewiesen werden, daß die Heilkraft der Quellen wirklich im Zusammenhang steht mit ihrer Radioaktivität.

Die starke, oft gefährliche Wirkung der Radiumstrahlen auf den menschlichen Körper ist bekannt. Giesel, Becquerel und andere Forscher, die sich mit radiologischen Untersuchungen befaßten, haben unfreiwillig an sich die Beobachtung machen müssen, daß an Körperstellen, die den Radiumstrahlen oft ausgesetzt wurden, Entzündungen, Ekzeme und Geschwüre sich bildeten. Anderseits hat man in neuester Zeit bei der Behandlung von Krebs und Lupus mit Radiumstrahlen gute Erfolge erzielt; in Kreuznach, dessen Quellen zu den am stärksten radioaktiven Wassern Deutschlands gehören, scheinen die seit einigen Jahren eingeführten „Radiumbäder" sich durchaus zu bewähren. Der Radiumgehalt dieser Bäder wird künstlich gesteigert durch Zusatz von stark aktiven Salzen, die man aus dem Schlamm der Kreuznacher Quellen gewinnt.

Nachweisen läßt sich die physiologische Wirkung des Radiums jedoch nur bei stärkerer Konzentration. Ob die äußerst geringfügigen, in vielen Trinkbrunnen enthaltenen radioaktiven Stoffe wirklich von irgendwelchem Einfluß auf den menschlichen Körper sind, hat bislang noch niemand feststellen können.

Die Radioaktivität der Quellen rührt in den weitaus meisten Fällen, wie schon erwähnt, von der im Wasser gelösten, gasförmigen Emanation her, nur wenige Quellen, z. B. die Kreuznacher, enthalten außerdem noch radioaktive Salze. Über die Herkunft dieser Salze ist kaum etwas Zuverlässiges bekannt, in der Regel werden sie aus den Gesteinen des Untergrundes ausgelaugt sein. Die Emanation der vadosen Quellen stammt sicher aus den von ihnen durchflossenen Gesteinschichten. Da nun der Radiumgehalt der einzelnen Felsarten sehr verschieden ist (er steigt und fällt im allgemeinen mit dem Tongehalt der Gesteine), so muß auch die Aktivität der Quellen und des Grundwassers innerhalb weiter Grenzen schwanken. Die reichlichste Emanation strömt den Quellen aus Graniten und Eruptivgneisen zu, dann folgen Sedimentgneise, Glimmerschiefer, Phyllite, Tonschiefer, Tone, Sande, zum Schluß Kalksteine. In Stein- und Braunkohlen fehlt die Emanation überhaupt.

Im allgemeinen sind warme Quellen stärker aktiv als kalte, so zeichnen sich z. B. gewisse Thermen auf Ischia und im Yellowstonepark, ferner die Gasteiner Thermen durch außerordentlich kräftige Emanation aus. Daß diese Regel auch Ausnahmen hat, lehrt uns der Vergleich der Gasteiner mit den Wildbader Quellen; beide entspringen in kristallinischen Gesteinen (Gneis, bzw. Granit), sind ungefähr gleich warm (36° C), und doch beträgt die Aktivität der Wildbader Thermen kaum $^1/_{85}$ der Gasteiner. Mit der landläufigen Erklärung, daß warme Gewässer die Gesteine stärker zersetzen als kalte und ihnen darum mehr Emanation entziehen, kommt man also nicht aus. Schwierig zu deuten sind auch gewisse Beobachtungen, die man in einem amerikanischen Thermengebiet, der Hot Springs Reservation in Arkansas, gemacht hat. Hier sind die Unterschiede in der Radioaktivität der einzelnen heißen Quellen ebenfalls sehr bedeutend, obwohl man allen den gleichen Ursprung im jungvulkanischen Gestein des Untergrundes zuschreiben muß; ja selbst unmittelbar nebeneinander gelegene Thermen zeigen die auffallendsten Verschiedenheiten. Es scheint also, als brächten gewisse juvenile Quellen ihre reichliche Emanation aus der Tiefe mit, wo sie ihnen direkt aus dem erstarrenden Magma zuströmt. Das in vulkanischen Gegenden öfters beobachtete Vorkommen stark radioaktiver Gasquellen (Fumarolen) bestätigt uns, daß die schmelzflüssige Lava tatsächlich radioaktive Gase aushaucht.

Wir geben zum Schluß eine Übersicht der Mineralquellen nach chemischen Gesichtspunkten, der die Angaben des „Deutschen Bäderbuches" zugrunde gelegt sind.

1. Einfache kalte Quellen (Akratopegen, d. h. ungemischte Quellen) sind durch niedrigen Gehalt an gelösten Mineralstoffen und

freier Kohlensäure charakterisiert (von beiden weniger als 1 g auf 1 kg Wasser), stehen also den gewöhnlichen Quellwassern am nächsten. Ihre Temperatur ist höher als die mittlere Jahreswärme des Ortes, bleibt aber unter 20° C. Beispiele: Freienwalde a. Oder, Bad Tölz, dessen Quellen sich durch Jodgehalt auszeichnen.

2. Einfache warme Quellen (Wildbäder, Akratothermen, d. h. ungemischte Thermen) sind ebenso arm an gelösten Mineralstoffen und freier Kohlensäure, aber wärmer als 20° C. Beispiele: Badenweiler, Schlangenbad, Wildbad.

3. Einfache Säuerlinge sind arm an gelösten Mineralstoffen, aber reich an freier Kohlensäure, von der sie mehr als 1 g auf 1 kg Wasser enthalten. Beispiele: Bad Brückenau in Franken, Charlottenbrunn in Schlesien.

4. Erdige Säuerlinge unterscheiden sich von einfachen Säuerlingen durch beträchtlichen Gehalt an doppeltkohlensaurem Kalk und doppeltkohlensaurer Magnesia. Beispiele: Göppinger Sauerbrunnen, Überkingen, Wildungen.

5. Alkalische Quellen enthalten hauptsächlich doppeltkohlensaures Natron. Ist viel freie Kohlensäure vorhanden, so spricht man von alkalischen Säuerlingen. Beispiele: Apollinaris, Ems, Fachingen, Neuenahr, Nieder- und Oberselters.

6. Kochsalzquellen enthalten hauptsächlich Kochsalz (Chlornatrium). Je nachdem in 1 kg Mineralwasser weniger oder mehr als 15 g Kochsalz gelöst sind, spricht man von einfachen Kochsalzquellen oder von Solquellen. Führt das Wasser viel freie Kohlensäure, so nennt man die Quelle einen Kochsalzsäuerling. Beispiele für einfache Kochsalzquellen: Baden-Baden, Wiesbaden; für Solquellen: Admiralsgartenbad in Berlin, Reichenhall, Sulza und Salzungen in Thüringen; für Kochsalzsäuerlinge: Nauheim, Soden am Taunus, Homburg v. d. Höhe.

7. Bitterquellen sind durch schwefelsaure Salze charakterisiert. Im einzelnen unterscheidet man:

a) Salinische Bitterquellen, in denen schwefelsaures Natron vorherrscht. Beispiel: Hersfeld.

b) Sulfatische Bitterquellen, in denen schwefelsaurer Kalk die erste Rolle spielt. Beispiele: Eyachsprudel, Lippspringe.

c) Echte Bitterquellen mit reichlichem Gehalt an schwefelsaurer Magnesia. Beispiel: Friedrichshall (Sachsen-Meiningen).

8. Eisenquellen enthalten in 1 kg Wasser mehr als 10 mg Eisen, und zwar in den meisten Fällen doppeltkohlensaures Eisen. Ist dann noch viel freie Kohlensäure vorhanden, so spricht man von Eisensäuerlingen. Beispiele: Alexandersbad bei Wunsiedel, Driburg, Langenschwalbach, Pyrmont.

9. Schwefelquellen können sehr verschiedene Zusammensetzung haben; gemeinsam ist ihnen ein meist sehr geringfügiger, aber therapeutisch bedeutsamer Gehalt an Schwefelmetallen (Hydrosulfiden), häufig auch an freiem Schwefelwasserstoff. Beispiele: Aachen, Eilsen bei Bückeburg, Nenndorf bei Hannover, Landeck in Schlesien.

Viertes Kapitel. Unterirdische Flüsse. Karstphänomene.

Die antike Auffassung, nach der alle Festländer kreuz und quer von unterirdischen Wasserläufen durchzogen wären, haben wir oben kennen gelernt. An der gleichen Stelle wurde betont, daß diese „Schwammtheorie" zwar im allgemeinen falsch ist, aber doch für die seltsamen Wasserverhältnisse einzelner Gebirgsländer die richtige Erklärung liefert. Namentlich gilt dies für die in allen Weltteilen vorkommenden Karstgebiete.

Der eigentliche Karst ist bekanntlich ein ödes, innen und außen von Wasser ganz zerfressenes Kalkgebirge, das wegen seiner Wasserarmut zu den unfruchtbarsten Teilen der Alpen gehört. Es scheint ein Widerspruch, beim Karst von Wasserarmut zu sprechen, wo doch gerade die auslaugende und nagende Tätigkeit des Wassers das Gebirge in jenen merkwürdigen Zustand versetzt hat, in dem eigentlich nur mehr das Skelett des Gebirges erhalten geblieben ist. Tatsächlich zirkulieren im Karst sehr bedeutende Wassermassen, aber nicht an der Oberfläche, wo sie in den zerklüfteten Kalkfelsen sehr rasch versickern, sondern tief im Innern des Gebirgsstockes. Ein großartiges Labyrinth stundenweit ausgedehnter Höhlen, unterirdischer Schluchten und Gänge durchzieht ihn nach allen Richtungen, und oft endigen diese Wege der Unterwelt plötzlich vor steilen, schauerlichen Abgründen, deren Tiefen noch niemand zu er-

forschen wagte. In vielen Höhlen rauschen jahraus, jahrein die unterirdischen Flüsse, andere liegen jetzt trocken (vom überall hindringenden Sickerwasser abgesehen), ihre ehemaligen Wasserläufe haben sich in tieferen Stockwerken der Erdrinde neue Betten ausgenagt.

Schon an der Erdoberfläche verrät sich das verkarstete Gebirge durch eine eigenartige Szenerie. Daß jene seltsam zerfressenen Kalkplateaus, die Karrenfelder, weite Flächenräume einnehmen, wird man von vornherein erwarten. Sie kommen jedoch auch in nicht verkarsteten Bergländern vor, während die unzähligen, bald kessel-, bald trichterförmigen Dolinen eine besondere Spezialität des Karstes bilden. Das Wort stammt aus dem Südslawischen und bedeutet eigentlich „Tälchen". Viele Dolinen erinnern an die in Mitteldeutschland so verbreiteten Erdfälle und sind wohl auch in ähnlicher Weise, d. h. durch Einsturz von Höhlendecken entstanden, andere, die wie tiefe Brunnen, röhrenförmige Schachte und Schlote gestaltet sind, wurden offenbar vom hinabstürzenden Wasser ausgewaschen; ursprünglich waren es enge Klüfte und Spalten, durch die ein von der Oberfläche kommender Bach sich in die Tiefe ergoß. Nach Ansicht mancher Forscher wäre auch die atmosphärische Verwitterung für sich allein imstande, schüssel- und wannenförmige Vertiefungen im Karstboden auszulaugen. Solche Dolinen wären dann ihrem Wesen nach verwandt mit den merkwürdigen „Opferkesseln", die sich massenhaft im Granit des Riesengebirges finden und früher allgemein für künstliche, zu Opferzwecken ausgehöhlte Vertiefungen gehalten wurden (Näheres darüber im II. Band).

Charakteristisch für das Karstgebirge sind auch die sogenannten blinden Täler, die man mit Sackgassen vergleichen kann. Sie beginnen oben im Gebirge wie gewöhnliche Täler, besitzen aber keinen unteren Ausgang, sondern endigen plötzlich vor einem felsigen Berghang. Die Erklärung ist einfach: unmittelbar vor dem unteren Talschluß klaffen im Boden tiefe Löcher und Spalten, in die sich der Talbach hinabstürzt, um weiterhin durch die unterirdischen Kanäle des Gebirges seinen Weg zu nehmen. An der Stelle, wo das Wasser von der Oberfläche verschwindet, hat natürlich die vom Wasser ausgenagte Talfurche ihr Ende.

Das äußere Bild der Karstlandschaft läßt sich kurz durch drei Begriffe kennzeichnen: nacktes Gestein, tiefe Felsspalten, Dolinen. Dazu kommt als viertes Merkmal die großartige, aber an der Oberfläche nicht direkt sichtbare Höhlenbildung. Dem Reisenden wird im Karst vor allem die trostlose Kahlheit der Felsen, bedingt durch das Fehlen der Ackerkrume und des Pflanzenkleides, auffallen. Dieser Mangel scheint auf den ersten Blick um so merkwürdiger, als gerade der Karst zu den regenreichsten Gebieten Europas gehört: es fallen dort im Mittel jährlich 130—150 cm Regen, das ist mehr als das Doppelte der durchschnittlichen Regenmenge in Europa. In manchen Teilen des Gebirges wird diese Mittelzahl noch weit überschritten, so fallen in Cetinje jährlich 290, ja in Crkvice (Bosnien) sogar mehr als 400 cm atmosphärischer Niederschläge.

Wegen der tiefgreifenden Zerklüftung des Kalkbodens geht fast das ganze vom Himmel strömende Wasser in Felsspalten und Abgründen verloren, und oberirdische Flußläufe können sich nur selten entwickeln. Damit ist zugleich erklärt, warum es im Karst keine Ackererde gibt: der feine Felsschutt, das Produkt der Verwitterung, aus dem allmählich die fruchtbare Dammerde hervorgeht, wird vom Wasser mit in die Tiefe geschwemmt und erst am Grund der Höhlen und Spalten wieder abgesetzt. Allerdings ist das Wasser nicht der allein schuldige Teil, der Wind, die gefürchtete Bora, steht mit ihm im Bunde. Sie fegt über die waldlosen Hochflächen des Karstes und trägt den feinen, von den Felsen abgelösten Staub in weite Ferne. Und wenn wir genau überlegen, so liegt am Ende die Hauptschuld beim Menschen; wenigstens hat sein Unverstand viel dazu beigetragen, daß die Verwüstung des Gebirges einen so erschreckenden Umfang angenommen hat.

In alten Zeiten waren die österreichischen Karstländer von prächtigen Wäldern bedeckt, doch haben schon die Römer weite Strecken zum Zweck des Schiffbaues abgeholzt, und als später das Gebiet unter die Herrschaft der Republik Venedig kam, wurde fast der gesamte Waldbestand verbraucht und durch jahrhundertelange Verwahrlosung des Bodens eine Wiederaufforstung unmöglich gemacht. Das kahle, schutzlose Gebirge ward nun zum Tummelplatz der erodierenden Kräfte, und die „Verkarstung" des Bodens nahm einen unheimlich schnellen Fortgang. Es wird erzählt, daß kroatische Auswanderer, die nach einigen Jahrzehnten in ihr Vaterland zurückkehrten, die ihnen aus der Jugendzeit vertraute Gegend kaum wiedererkannten; so sehr hatten in dieser kurzen Zeit die zahlreichen Terrainbrüche, denen Häuser, Gärten, Straßen und Wege zum Opfer fielen, den Anblick des Landes verändert.

In neuester Zeit hat die österreichische Regierung die Aufforstung des Karstes ernsthaft ins Auge gefaßt und in einzelnen Gegenden schon recht hübsche Erfolge erzielt. Leider muß sie dabei mit einem gewissen Widerstand der Bevölkerung rechnen. Auch der Karstboden, wie er ist, hat für den Eingeborenen einen gewissen Wert; Schafe und Ziegen, der Viehstand des armen Mannes, finden selbst an dem kümmerlichen Gestrüpp, das in den Felsritzen wächst, noch hinreichende Nahrung. Wo nun frisch aufgeforstet ist, dürfen jene Haustiere nicht mehr gehalten werden, weil sie den jungen Baumwuchs zerstören würden. Damit ist dem armen Karstbewohner eine seiner wenigen Nahrungs- und Erwerbsquellen vollständig abgeschnitten, und da erst die Enkel der jetzigen Generation den Vorteil von der Aufforstung haben, so wird die allgemeine Mißstimmung begreiflich. Bedauerlicherweise kommt es sogar vor, daß die Bevölkerung durch böswillig angelegte Waldbrände den früheren Zustand wiederherzustellen versucht.

Die einzigen fruchtbaren Stätten des Karstgebirges sind zurzeit die seichten, wannenförmigen Dolinen. Auf ihrem Grunde sammelt sich die vom Regen herabgeschwemmte rote Erde an, der Verwitterungsrückstand des Kalksteins. Hier gedeihen Obstbäume, und in den größeren Wannen lassen sich auch Getreidefelder anlegen.

Kehren wir nun zu den Wasserverhältnissen des Karstes zurück! Es fragt sich: Wo bleiben die gewaltigen, tagtäglich vom Boden verschluckten Wassermassen? Verlieren sie sich restlos in unzugänglichen Tiefen, oder treten sie etwa nach langem unterirdischen Lauf am Fuß des Gebirges als Quellen wieder hervor?

Solche Quellen müssen sich von gewöhnlichen Grundwasserquellen durch ihre viel größere Wassermenge unterscheiden. Verläuft der unterirdische Flußlauf annähernd wagerecht (wie an der Erdoberfläche), so wird das Wasser in mächtigem Strom aus einem Felsentunnel hervorbrechen; quillt es aber von unten empor, so wird sich an seinem Ursprung ein tiefer Teich, ein sogenannter Quelltopf, bilden. Für beide Fälle wollen wir dem Leser einige Beispiele vorführen, ohne uns dabei auf den eigentlichen Karst zu beschränken.

Zu den verkarsteten Gebieten gehört neben vielen anderen auch das gesamte Juragebirge von der Schweiz bis Franken. Die Verkarstung hat hier bei weitem nicht den gefährlichen Umfang erreicht wie im österreichischen Karst und wird ihn aus verschiedenen Gründen auch nie erreichen, aber es sind doch überall im Gebirge so viele Spalten vorhanden, daß der größte Teil des Regen- und Schneewassers in die Tiefe versinkt. Die Wasserarmut der Schwäbischen Alb im allgemeinen legt dafür ein beredtes Zeugnis ab, doch am handgreiflichsten wird die Existenz der wasserschluckenden Spalten an der bekannten Donauversickerung bei Immendingen. Unterhalb wie oberhalb dieser Stadt ist das Flußbett leck, und das Wasser strudelt aus einer großen Anzahl von „Sauglöchern" in die Tiefe. Fast alljährlich tritt im Sommer, wenn die Donau wasserarm ist, eine vollständige Unterbrechung des Flußlaufes ein, so daß man im trockenen Donaubett mehrere Kilometer weit gegen Möhringen marschieren kann. Erst unterhalb dieses Ortes wird der Donau durch einige von der Alb kommende Bäche neues Wasser zugeführt, doch gehen ihr bei Fridingen nochmals bedeutende Wassermengen durch Einsickern verloren. Die Unterbrechung des Donaulaufs währt durchschnittlich $2\frac{1}{2}$—3 Monate (in trockenen Jahren doppelt so lange).

Schon seit geraumer Zeit weiß man, wohin die von der Oberfläche verschwundene Donau strömt. $12\frac{1}{2}$ Kilometer südlich von Immendingen kommt eine mächtige Quelle zum Vorschein, die in der Sekunde sechs Kubikmeter Wasser liefert; es ist die Quelle der Aach, jenes Flusses, der in zahlreichen Windungen quer durch den vulkanischen Hegau dem Untersee zueilt. Eine Reihe sorgfältig durchgeführter Untersuchungen hat gezeigt, daß die Aachquelle von dem bei Immendingen und Fridingen versinkenden Donauwasser gespeist wird.

Bei solchen Untersuchungen werden gewöhnlich größere Mengen Fluoreszein ins Wasser geschüttet. Dieses rote, leicht lösliche Pulver bringt im Wasser ein eigentümliches, gelbgrünes Leuchten hervor, das selbst bei außerordentlich großer Verdünnung noch deutlich zu sehen ist. Im Jahre 1876 ließ Hofrat Knop 10 kg gelöstes Fluoreszein bei Immendingen in die Donau schütten, worauf nach etwa sechzig Stunden im Wasser der Aachquelle die charakteristische grüngelbe Färbung erschien. Ein späterer, im August 1907 von der württembergischen Regierung ausgeführter Färbeversuch bewies, daß auch der Fridinger Wasserverlust der Aachquelle zugute kommt; die Färbung zeigte sich jedoch diesmal erst nach $8\frac{1}{2}$ Tagen.

Sehr auffällig ist die lange Zeit, die das

Wasser zu seinem unterirdischen Wege gebraucht. Während ein Fußgänger die 12½ km von Immendingen bis zur Aachquelle bequem in zweieinhalb Stunden zurücklegen könnte — in Wirklichkeit wird er wegen der dazwischenliegenden Berge und Täler natürlich mehr Zeit brauchen — hat das Wasser trotz des starken Gefälles (170 m) fast drei Tage nötig. Man wird daraus schließen, daß es ihm nicht anders geht als dem Menschen, d. h., daß es in der Tiefe gleichfalls bedeutende Hindernisse überwinden muß. Dies können z. B. unterirdische Wasserbecken sein, in denen es längere Zeit in kreisender

interessantes Resultat. Früher konnte man im Zweifel sein, ob nicht ein Teil des versinkenden Donauwassers sich in den Gesteinschichten verlöre, d. h. zu Grundwasser würde, das erst nach Wochen oder Monaten irgendwo wieder ans Tageslicht käme. Durch quantitative Prüfung ließ sich jedoch der Nachweis erbringen, daß die gesamten 200 Zentner Kochsalz (bis auf einen ganz unbedeutenden Rest) von der Donau in die Aach gelangten, was natürlich nur möglich ist, wenn auch das gesamte bei Immendingen versinkende Donauwasser den Weg zur Aach nimmt. Es fließt also tat-

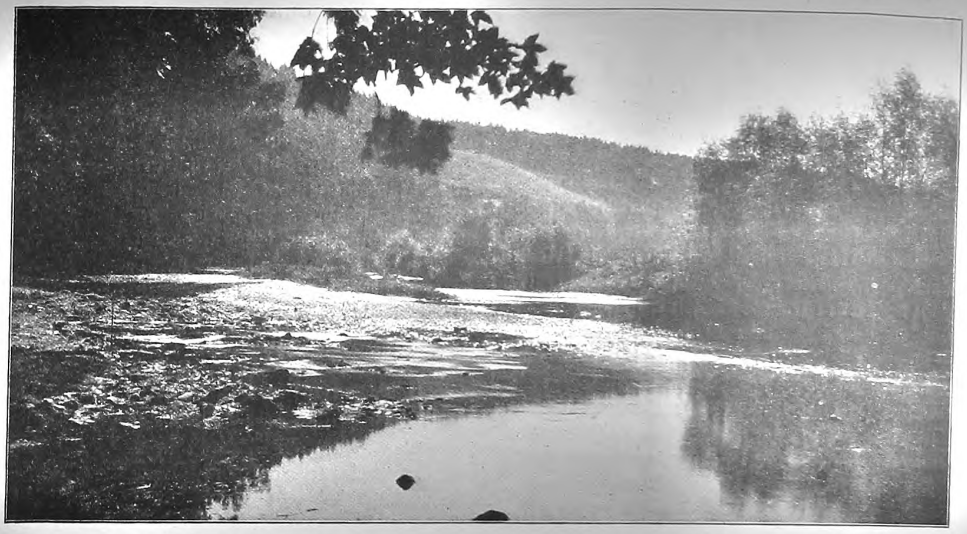


Abb. 226. Hauptversinkung im Brühl. Das Donaugewässer zieht von der linken Bettseite (auf dem Bilde von rechts) mit starkem Gefäll nach den Versinkungsstellen am rechten Ufer, dessen äußerer Rand bereits trockengelegt ist. (In der Mitte, flußaufwärts ein Kiesrücken.)

Bewegung verbleibt, bis es von den nachströmenden Massen zum Ausfluß gedrängt wird.

Ein weiterer, von Knop unternommener Versuch bestätigt diese Auffassung. Der genannte Forscher ließ, wiederum bei Immendingen, 200 Zentner Steinsalz in die Donau schütten und beobachtete nun, wie viel davon in der Aachquelle wieder zum Vorschein kam. Die ersten Spuren der Versalzung zeigten sich nach 21 Stunden; von da an nahm der Salzgehalt des Aachwassers 40 Stunden lang zu und dann ebenso langsam wieder ab, bis nach 90 Stunden die letzte Spur Salz verschwunden war. Damit war bewiesen, daß das Donauwasser unter der Erde nicht im Zusammenhang bleibt, sondern teilweise ziemlich rasch durchströmt, teilweise längere Zeit zurückgehalten wird.

Der Versuch ergab noch ein anderes, sehr sächlich ein unterirdischer Fluß von der oberen Donau nach dem Oberrhein, bzw. Untersee.

Ob dieser Fluß in weiten unterirdischen Höhlen oder in engen Kanälen fließt, wissen wir nicht. Die Spalten bei Immendingen sind zu eng, als daß ein Mensch in sie hinabsteigen könnte; von dieser Seite aus ist also eine Erforschung des unterirdischen Stromnetzes unmöglich. Auch die Versuche, von der Aachquelle aus (die ein 12 m tiefer „Quelltopf" ist) in den Wassertunnel einzudringen, sind gescheitert; der hineingeschickte Taucher konnte gegen die Gewalt des emporsprudelnden Wassers nichts ausrichten.

Durch die rastlos fortschreitende Auflösung des Kalkes müssen die Spalten im Donaubett sich immer mehr erweitern, es wird alljährlich

mehr Donauwasser dem Rhein zuströmen. Während früher nur in außerordentlich trockenen Jahren eine Unterbrechung des Donaulaufes stattfand, ist dies in den letzten drei Jahrzehnten fast jedes Jahr geschehen. Dagegen hat sich im Aachgebiet eine Überfülle von Wasser eingestellt. Allerdings könnte man das Flußbett der Donau künstlich abdichten, aber diese Pläne sind bekanntlich an den hohen Entschädigungsansprüchen der Aachinteressenten gescheitert. So läßt sich voraussehen, daß vielleicht schon in hundert Jahren die Donau auch in der nassen Jahreszeit nicht mehr oberirdisch fließen, sondern das gesamte vom Schwarzwald kommende Wasser an den Rhein abgeben wird.

Die Verstärkung des unterirdischen Abflusses muß, wie W. v. Knebel betont, noch weiteres Unheil im Gefolge haben. Wenn die Höhlen sich durch Auflösung des Kalkes immer mehr vergrößern, so wird schließlich der Fall eintreten, daß die Decke des Wassertunnels erst teilweise, dann ganz zusammenbricht. Begonnen haben diese Einbrüche schon, wie eine langgestreckte Doline unweit der Aachquelle erkennen läßt. Das Endergebnis wird ein offenes, schluchtartiges Tal sein, in dessen Tiefe die ehemalige Donau dem Untersee zuströmt. Im österreichischen Karst kennt man viele durch Einsturz von Höhlen entstandene Täler; ein Beispiel, die Dolinen der Reka, werden wir bald kennen lernen. Auch dem Gebiet zwischen Donau und Oberrhein droht eine unaufhaltsame Verkarstung, eine vollständige Untergrabung des Bodens, wenn man sich nicht im Lauf der nächsten Jahrzehnte zu durchgreifenden Abwehrmaßregeln entschließt.

Ein Seitenstück zum Quelltopf der Aach ist der bei Blaubeuren auf der Alb gelegene Blautopf, „ein kreisrunder, tiefer, geheimnisvoller Quellsee, dessen Farbe sich mit der Tiefe zum schönsten Himmelblau steigert, und dessen Wasser sich aus unbekannten Quellöchern so stark ergänzt, daß beständig ein größerer Strom überfließt" (Haas). Der Abfluß ist die der Donau zuströmende Blau. Wie es zugeht, daß an dieser Stelle eine so reichliche Wassermenge zutage tritt, ist noch nicht befriedigend erklärt. Seit alters hat das Volk mit dem seltsamen Quellteich abenteuerliche Vorstellungen verbunden; so sollte er mit dem Schwarzen Meere zusammenhängen, überhaupt unergründlich sein und von Zeit zu Zeit ohne sichtbare Veranlassung ausbrechen. Es wird erzählt, daß nach der ersten Auslotung manche Leute gefragt hätten, ob denn das Senkblei nicht geschmolzen sei; denn die Sage sprach von glühender Hitze am Grunde des Kessels. Auf alten Quellenkultus deutet die Nachricht, daß man noch im Jahre 1641, als die Blau die Stadt überschwemmte, eine Prozession zum Blautopf veranstaltete und zur Versöhnung der erzürnten Gottheit zwei vergoldete Becher hineinwarf. In seiner Novelle vom „Stuttgarter Hutzelmännlein" hat Mörike die Blautopfsage mit seinem dichterischen Humor verwertet.

Dem Blautopf ähnlich, nur gleichsam ins Exotische übertragen, ist die Kyanequelle auf Sizilien. Während fast alle anderen sizilischen Flüsse in der heißen Jahreszeit austrocknen, bleibt das unweit Syrakus in den Anapos mündende Flüßchen Kyane das ganze Jahr hindurch wasserreich. Eine Kahnfahrt auf dem still dahingleitenden Strom, dessen Farbe das Blau der Kornblume (Zyane) hat, wird als ungemein reizvoll geschildert. Beide Ufer sind dicht bewachsen von Papyrusbüschen, jener üppigen, hoch aufschießenden Sumpfpflanze, aus der die Alten Papier bereiteten. Es ist die einzige Stelle in Europa, wo der Papyrus wild wächst. Das kaum vier Wegstunden lange Flüßchen entspringt in einem malerischen, tiefblauen Teich, einem Quelltopf, auf dessen Grunde das Wasser aus zahlreichen Öffnungen hervorsprudelt.

Der Boden Siziliens ist in noch höherem Grade verkarstet als die Schwäbische Alb. Keinesfalls sammeln sich die Wasser der Blau wie der Kyanequelle erst kurz vor ihrem Austritt, sondern müssen als geschlossene unterirdische Wasseradern schon längere Strecken in der Verborgenheit zurückgelegt haben. Gespeist werden sie zweifellos von den weiter oben im zerklüfteten Gebirge versinkenden Bächen und Quellfäden; ob außerdem noch Grundwasser hinzufließt, ist schwer festzustellen.

Auch die berühmte, viel beschriebene Quelle von Vaucluse bei Avignon (Südfrankreich) ist in Wirklichkeit die Austrittstelle eines unterirdischen Flusses, der an der Oberfläche den Namen Sorgue führt und der Rhone zuströmt. In der nassen Jahreszeit ist die Sorgue gleich von ihrem Ursprung an schiffbar. Die Vauclusequelle bricht aus einer senkrechten, 200 m hohen Felswand hervor, die das Tal der Sorgue wie eine Mauer abschließt; daher wurde das Tal von den Römern Vallis clausa genannt, woraus Vaucluse entstanden ist.

Am Fuß der Felswand strömt die Sorgue

aus einer Höhle hervor, deren Eingangstor sie bei hohem Wasserstand bis zur oberen Wölbung ausfüllt. Die Quelle liefert dann nicht weniger als 120 cbm in der Sekunde, ist also bei diesem Wasserstand eine der stärksten Quellen der Welt. Abgesehen von den jahreszeitlichen Schwankungen wechselt die Ergiebigkeit auch stunden- und minutenweise oft ganz erheblich. Daraus ist zu schließen, daß das Bett des unterirdischen Flusses unregelmäßig, in mehrfach auf- und abgewundenen Röhren verläuft, die von Zeit zu Zeit Stockungen des Abflusses bewirken, nach deren Überwindung die angesammelten Wassermassen in ungeheurem Schwall hervorbrechen. Bei niedrigem Wasserstand ist es gelungen, ein Stück weit in die Höhle einzudringen, wobei sich gezeigt hat, daß die Vaucluse-wasser aus einem engen, schräg abwärts führenden Kanal emporquellen. Dies ist also der aufsteigende Schenkel eines kommunizierenden Röhrensystems; ihm müssen im Innern des Gebirges ein oder mehrere absteigende entsprechen.

Auch von der unterirdischen Donau-Rhein-Verbindung dürfen wir annehmen, daß sie bald auf-, bald abwärts verläuft und durch Hohlräume sehr verschiedener Weite hindurchführt.

Die Herkunft des Vaucluse-wassers ist leicht zu verstehen. Im Norden der Quelle erheben sich die Bergzüge der Montagne de Lure und des Mont Ventoux, die an der Oberfläche größtenteils aus schwer durchlässigen Kreidemergeln bestehen (Mergel ist bekanntlich tonreicher Kalkstein). Von diesen Bergen kommen zahlreiche oberirdisch fließende Bäche herab, die aber sofort in die Tiefe versinken, sobald sie das rein kalkige, also leicht durchlässige Hochplateau der Vaucluse erreichen. Das Plateau ist annähernd in dem gleichen Grade verkarstet wie die Schwäbische Alb, und es unterliegt keinem Zweifel, daß die Riesenquelle der Sorgue von jenen versickernden Bächen gespeist wird.

Fünftes Kapitel. Die Höhlenflüsse des Karstes.

Bei den bisher geschilderten Höhlenflüssen kennt man wohl die Stellen, wo sie die finsteren Klüfte verlassen, bei der Rhein-Donau-Verbindung auch die Eintrittsstelle, aber die unterirdischen Flußbetten selbst sind gänzlich unerforscht. Jetzt werden wir einen Höhlenfluß kennen lernen, dessen verborgenen Lauf man auf weite Strecken verfolgt hat, dessen schließlicher Verbleib aber noch ein Rätsel ist. Wir meinen die Reka im österreichischen Karst.

Etwa dreiviertel Stunde von der Südbahnstation Divatscha entfernt, befinden sich die großartigen, neuerdings vom Alpenverein zugänglich gemachten Höhlen von St. Canzian. Das Dorf dieses Namens liegt hoch über den Grotten auf einem steilen Felswall, der hier das Rekatal abdämmt und den der Fluß in einem 300 m langen natürlichen Tunnel durchbricht. In der Nähe des Dorfes bemerkt man eins der eigentümlichsten Karstphänomene: einen bis zur Decke der tief darunter liegenden Höhle hinabreichenden Lichtschacht. Steht man am Rande dieser unheimlichen Kluft, so vernimmt man deutlich das Rauschen der Reka, die in zahlreichen Wasserstürzen mit reißender Geschwindigkeit dahinschießt, als eile sie, aus der finsteren Unterwelt wieder ans Tageslicht zu gelangen.

Am Ausgang des Tunnels wird die Reka zum letztenmal an der Erdoberfläche sichtbar. Sie durchströmt ein tiefes Kesseltal, richtiger: zwei große, hintereinander gelegene Dolinen, die zweifellos nichts anderes sind als eingestürzte Höhlengewölbe. Ursprünglich legte also die Reka auch diesen Teil ihres Laufes unter der Erde zurück. Von der Stephanienwarte unweit Divatscha genießt man einen prächtigen Rundblick über die beiden großen Einbruchskessel; was man vor Augen hat, ist das Zukunftsbild der schwäbischen Landschaft zwischen Immendingen und dem Aachtal!

Am Ende der zweiten Doline tritt die Reka in die Höhlen von St. Canzian ein, wo man ihren Lauf noch 2100 m weit verfolgen kann, bis sie endlich in unzugänglichen Tiefen verschwindet, um nicht mehr ans Tageslicht zu kommen.

Die Höhlen imponieren vor allem durch ihre gewaltige Höhe. Die domartigen Wölbungen erheben sich 60—80, der „Müllerdom" 85 m über die Sohle der Reka; dazwischen senkt sich die Decke zuweilen bis auf 30 m hinab, was bei anderen Höhlen schon als sehr ansehnliche Höhe gilt. Gering im Verhältnis zur Höhe der Grotten ist ihre Breite, so daß der unterirdische Flußlauf an vielen Stellen den Eindruck einer Klamm macht. Fast lotrecht steigen die Felswände aus dem engen Flußbett, und der Weg, den die Besucher jetzt benutzen, mußte mit unendlicher Mühe und unter beträchtlichen Ge-

fahren dem schlüpfrigen Felsen abgerungen werden.

Wer etwa erwartet, in den Rekahöhlen jene wunderbare Fülle der Tropfsteinbildungen zu finden, wie in der nahen Adelsberger Grotte, wird enttäuscht sein. In den von einem starken Wasserstrom durchbrausten Rekahöhlen ist die Luft viel zu feucht, die Verdunstung zu unbedeutend, als daß sich Kalksinter abscheiden könnte. Nur in einzelnen, verhältnismäßig trockenen Seitengrotten, z. B. der Tominzgrotte, war ein reicherer Absatz von Tropfstein möglich. Dafür bietet uns die Hauptgrotte ein anderes großartiges Naturwunder: die zahlreichen Wasserstürze der Reka. Vom Eingang der Höhle bis zum „See des Todes", in dem die Reka vorerst ein Ende hat, sind nicht weniger als 28 Wasserfälle, ungerechnet die kleinen Stromschnellen und Kaskaden! Das Gefälle

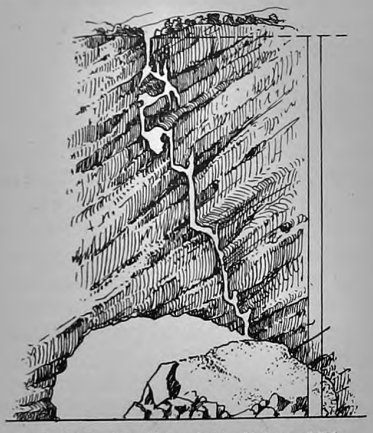


Abb. 227. Profil durch die Lindner Höhle.

des Flusses ist so bedeutend, daß er zahllose Gerölle — darunter oft ganz gewaltige Blöcke — mit sich fortreißt. An ruhigen Stellen kommen diese Massen zum Absatz und bilden eine Art Pflasterung des Höhlenbodens. Das beständige Rollen und Schaben der vom Strom bewegten Steine wirkt natürlich stark erodierend und vertieft das felsige Flußbett immer mehr, woraus sich die außerordentliche Höhe der Grotten erklärt.

Am Ende der St. Canzianer Höhlen verlieren sich die Wasser in einem ziemlich engen Loche, das für Menschen unpassierbar ist und bislang auch nicht umgangen werden konnte. Durch dieses Loch hat der obenerwähnte „See des Todes" seinen Abfluß. Wohin die Reka sich nun wendet, ist unbekannt; auch ein im Sommer 1891 mit Fluoreszein angestellter Färbversuch hat darüber keinen Aufschluß gegeben. Ein gewisser Anhalt ist aber doch vorhanden.

13 km vom See des Todes entfernt, fast genau in der Stromrichtung der Reka, öffnet sich im Gebirge die Lindner Höhle (Abb. 227), ein 322 m tiefer Spalt, an dessen Grunde ein kräftiger Fluß strömt. Ist dies die Fortsetzung der St. Canzianer Reka? Man wüßte nicht, woher jener Fluß kommen sollte, wenn es nicht die Reka wäre, deren ganzer Lauf nach der Lindner Höhle hin gerichtet ist. Aber bei dem obenerwähnten Färbversuch hat sich im Wasser der Lindner Höhle keine Spur Fluoreszein nachweisen lassen, obgleich eine volle Woche Tag und Nacht Proben geschöpft und untersucht wurden. Möglicherweise war die angewandte Menge von 10 kg Fluoreszein zu gering.

Das weitere Schicksal der Reka bleibt ein ungelöstes Rätsel! Man sollte erwarten, daß sie an der adriatischen Küste, im Meerbusen von Triest, aus dem zerklüfteten Ufergebirge hervorbräche und sich nach kurzem Lauf ins Meer ergösse. Nun liegt aber der Grund der Lindner Höhle nur 19 m über dem Spiegel der Adria, während die Entfernung dorthin noch 6 km beträgt. Auf dieser verhältnismäßig weiten Strecke würde also die Reka nur 19 m fallen, was sehr unwahrscheinlich ist, weil sie im übrigen Teil ihres Laufes (wie alle Höhlenflüsse) ein viel stärkeres Gefälle besitzt. Wenn die Reka in den Meerbusen von Triest mündet, so geschieht dies jedenfalls unterhalb des Meeresspiegels.

Man kennt in der Nähe von Triest eine Anzahl unterseeischer Süßwasserquellen, die für die Triester Wasserleitung nutzbar gemachten Aurisinaquellen. Sie sind jedoch zu schwach, um als Wiederaustritt der ganzen Reka gelten zu können. Es ist möglich, daß sich die Reka dicht vor der Küste verteilt und in zahlreichen, zum Teil noch unbekannten Quelladern ins Adriatische Meer fließt; vielleicht aber erfolgt die Teilung schon im Innern des Gebirges, bald hinter den St. Canzianer Höhlen, der Fluß löst sich auf und geht ins Grundwasser über. Ist dies der Fall, so wird man über das schließliche Schicksal der Reka wohl immer im unklaren bleiben.

Die obenerwähnte Adelsberger Grotte ist gleichfalls das alte Bett eines Höhlenflusses, der bei Adelsberg im Kreidekalk verschwindenden Poik. Die Höhle teilt sich nahe ihrem Eingang in zwei Arme, von denen der tiefergelegene das heutige Poikbett bildet, wäh-

rend der höhere jetzt trocken liegt und seiner wunderbaren Tropfsteingebilde wegen zu den berühmtesten Grotten der Welt zählt. Auch hier sind also nur in dem vom Fluß verlassenen Teil der Höhle Tropfsteine gewachsen! Man kann auch die Poikhöhle besuchen, doch sind die Wege sehr naß, und wer die viel großartigeren Rekahöhlen durchwandert hat, wird hier kaum auf seine Kosten kommen.

Die Schicksale der Poik sind vielleicht noch merkwürdiger, obschon nicht so geheimnisvoll wie die der Reka. Sie empfängt noch unter der Erde, in der Planinagrotte (Abb. 228), einen vom Zirknitzer See kommenden Nebenfluß, tritt dann bei Planina ans Tageslicht und heißt von jetzt ab Unz (vgl. die Kartenskizze Abb. 229). In zahlreichen Windungen durchfließt die Unz das Planinatal, dessen Grund aus ziemlich undurchlässigem Dolomitfels besteht. Sowie der Dolomit aufhört und die verkarsteten Kreidekalke beginnen, verschwindet der Fluß von neuem, um nach langem verborgenen Lauf in den Laibachsümpfen wieder zum Vorschein zu kommen. Aus diesen Sümpfen geht die Laibach hervor, ein ansehnlicher, sofort für kleine Fahrzeuge schiffbarer Fluß, der sich in die Save ergießt. Poik, Unz, Laibach sind nur verschiedene Namen für einen und denselben Wasserlauf.

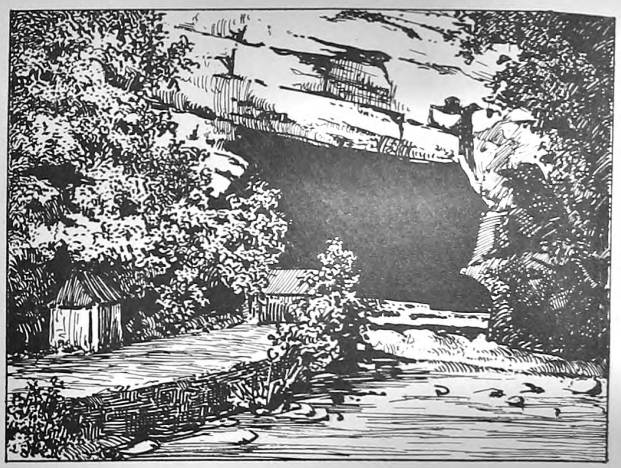


Abb. 228. Austritt der Poik (Unz) aus der Planinagrotte. (Nach von Knebel.)

Fast endlos ist die Liste der im Karst zeitweise oder auf immer versinkenden Bäche und Flüsse. Die Spalten und unterirdischen Kanäle, die das Wasser aufnehmen, werden Schlund- oder Sauglöcher, Wasserschlinger oder — mit einem dem bosnischen Idiom entlehnten Ausdruck — Ponore genannt. Es sind dies also gleichsam negative Quellen. Interessant ist nun, daß manche Ponore zuzeiten ihren Charakter vollständig ändern und gewaltige Wassermengen hervorsprudeln, die Sauglöcher werden zu Speilöchern. In regenreichen Zeiten oder bei rascher Schneeschmelze vermögen viele unterirdische Kanäle bei weitem nicht das gesamte ihnen von der Oberfläche zuströmende Wasser zu fassen. Dann treten Stauungen ein, das zurückgedrängte Wasser steigt in den Ponoren empor und fließt schließlich über.

Der Zirknitzer See liegt östlich von Adelsberg in einem von zerklüfteten Kalkbergen eingeschlossenen Talkessel ohne Ausgang. Der See gilt seit alter Zeit für eine Art Naturwunder, weil er ungemein rasch anschwillt und abnimmt, in manchen Sommern ganz austrocknet und zu anderen Zeiten gefährliche Überschwemmungen verursacht. Reden doch die Umwohner davon, man könne im Zirknitzer See nach Umständen fischen, pflügen, säen, ernten und jagen! Ein „Wunder", das sich allerdings nur selten verwirklicht.

Die Tiefe des Sees beträgt im allgemeinen nur ein paar Meter, doch öffnen sich an manchen Stellen trichterförmige Gruben von größerer Tiefe. Ihnen hat das Volk sehr bezeichnende Namen gegeben, wie Kessel, Faß, Getreidesieb, grobes Sieb usw. Zwei, über denen man den Widerhall der hineinstürzenden Gewässer hört, werden „Große und Kleine Trommlerin" genannt. Beim Ablaufen des Sees retten sich Unmengen von Fischen in diese Gruben, wo sie von den Umwohnern mit leichter Mühe gefangen werden.

Etwa 40 Sauglöcher, zum Teil am Grunde der erwähnten Trichter gelegen, entziehen dem See sein Wasser, das in einiger Entfernung wieder zum Vorschein kommt und verschiedene kleine Flüsse und Bäche speist. Im Sommer (seltener im Winter), wenn die Zuflüsse des Sees versiegen, trocknet er oft binnen drei Wochen vollständig aus. Dies geschieht aber nicht regelmäßig; manchmal bleibt der See mehrere Sommer und Winter hintereinander voll Wasser, zu anderen Zeiten hat er schon

ein volles Jahr trockengelegen. Ungemein rasch geht, wenn man den Berichten trauen darf, das Anfüllen vonstatten. Bei heftigen Regengüssen verwandeln sich die zahlreichen Ponoren in Speilöcher und werfen, oft unter donnerndem Getöse, derartige Wassermassen aus, daß der See binnen 24 Stunden seinen gewöhnlichen Stand erreicht. Die Flut steigt dann bis zu den weithin sichtbaren, wie von großen Stichen durchlöcherten Höhlenfelsen Große und Kleine Karlovca (auch Karlouza geschrieben), durch die sie auf unterirdischem Wege der Unz zuströmt. Bei ungewöhnlich hoher Flut ereignet es sich wohl, daß auch diese Abflüsse nicht das

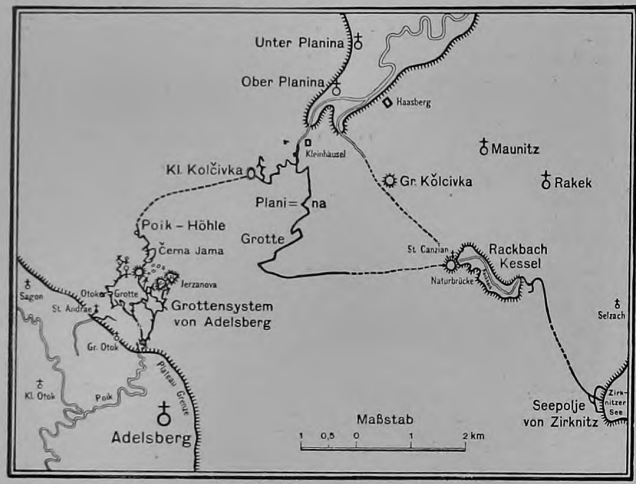


Abb. 229. Das unterirdische Flußnetz der Poik und ihrer Nebenflüsse. (Nach v. Knebel.)

gesamte Wasser fassen; dann tritt der See weit ins Land hinein und überschwemmt die Uferdörfer.

Folgen wir jetzt dem Abfluß des Zirknitzer Sees durch die beiden Karlovcahöhlen! Nach etwa 3½ km unterirdischen Laufes gelangt der Bach im Rackbachkessel auf kurze Zeit ans Tageslicht. Hier ist eins der merkwürdigsten Karstphänomene zu sehen: eine gewölbte Naturbrücke aus festem Kalkgestein, unter der der Rackbach hindurchfließt. Die Brücke ist offenbar der letzte stehengebliebene Rest eines gewaltigen Höhlendaches, das einstmals das ganze Kesseltal überwölbte. Im Lauf der Zeit brach die Decke ein, und es entstand der offene Rackbachkessel, nur an der Stelle, wo jetzt die Felsbrücke prangt, war das Höhlendach allzu widerstandsfähig, um einzustürzen. Allem Anschein nach ist auch die großartige, auf Seite 217 abgebildete Naturbrücke Nonnezhozi in Utah auf ähnliche Weise entstanden. Anstatt im offenen Canon floß das Wasser ursprünglich in einer Art Tunnel, dessen Dach allmählich zusammenbrach bis auf jenen Teil, der jetzt als breite Felsbrücke den Canon überspannt.

Am Ende des Rackbachkessels, wo der Fluß wieder im Kalkgebirge verschwindet, bereitet er uns eine neue Überraschung: er teilt sich in zwei Arme, die auf verschiedenen Wegen der Unz zufließen. (Zur leichteren Orientierung in diesem verwickelten Fluß- und Höhlennetz diene das beistehende, v. Knebels „Höhlenkunde" entnommene Kärtchen.) Der rechte, östliche Arm ist auf seiner unterirdischen Strecke noch unerforscht; in der Nähe von Planina kommt er zum Vorschein, wird Mühlbach genannt und mündet bald in die Unz. Der linke, westliche Arm wendet sich auf vielfach gewundenem Wege der Planinagrotte zu, die uns schon von dem unterirdischen Poiklauf her bekannt ist. In der Nähe des Höhlenausgangs vereinigt er sich mit der von Adelsberg kommenden Poik. Die Entwirrung dieses seltsamen Flußnetzes verdankt die Wissenschaft ganz besonders den ausdauernden Bemühungen des kühnen Höhlenforschers W. Putick, der den Rackbach in der Planinagrotte 4½ km weit aufwärts befahren hat. Nur die oberste Strecke, etwa 1½ km, ist noch unbekannt.

Von den Mühsalen und Gefahren einer solchen Höhlenfahrt kann sich nur der einen Begriff machen, der jene unterirdischen Gewässer mit ihren zahlreichen Stromschnellen und Strudeln, ihren Klippen und gefahrvollen Engen selbst gesehen hat. Oft ist der Weg versperrt durch riesige herabgefallene Felsblöcke, über die der Nachen unter den größten Schwierigkeiten hinweggezogen werden muß, oder durch Wasserstürze, deren Überwindung ebenfalls viel Zeit und Mühe kostet. Vollkommen unmöglich wird die Weiterfahrt, wenn sich die Höhlendecke bis auf den Wasserspiegel herabsenkt, wenn also der Fluß sein unterirdisches Bett vollständig ausfüllt. Solche vom Wasser abgeschlossene Strecken, Siphone genannt, kommen in den Karstgrotten häufig vor und bilden das größte Hindernis für die Höhlenforschung. Bisweilen

kann man sie durch seitliche Höhlengänge umgehen oder von der Erdoberfläche aus durch Spalten den Fluß an einer weiter abwärts gelegenen Stelle wieder erreichen, aber oft ist weder das eine noch das andere möglich und der Zusammenhang der Wasserläufe nur durch Färbversuche klarzustellen.

Bevor wir von der Grottenwelt des Karstes Abschied nehmen, sei noch der sonderbaren Lebewesen gedacht, die in den unterirdischen Gewässern ihr Dasein fristen. Die Fische des Zirknitzer Sees, größtenteils Hechte und Schleien, verschwinden mit dem ablaufenden Wasser in die Tiefe und kommen aus den Sauglöchern hervor, wenn der See sich wieder füllt. Wo und wie die Tiere in der Zwischenzeit leben, ist unbekannt. Diesen zeitweiligen Höhlenbewohnern, deren Körperbau völlig normal ist, stehen andere Tiergruppen gegenüber, die durch vollständige Gewöhnung an das Höhlenleben gewisse Veränderungen ihrer Organisation erlitten haben; vor allem sind die Augen stark rückgebildet oder ganz verloren gegangen. Am bekanntesten ist der Grottenolm, ein zarter, vollkommen durchsichtiger Lurch mit rudimentären, von der Körperhaut überwachsenen Augen. Da die Haut durchscheinend ist, können die Tiere wohl noch den Unterschied zwischen Hell und Dunkel wahrnehmen, aber es kann kein Bild mehr auf der Netzhaut entstehen. Den Besuchern der Adelsberger Grotte wird ein Wasserbecken gezeigt, in dem solche Olme zu sehen sind. Bringt man die Tiere ans Tageslicht, so bekommt ihr glashelles Körper schwarze Flecken, und nach einiger Zeit sterben sie ab. Bei Überschwemmungen sollen bisweilen Olme aus den Speilöchern des Karstbodens ausgeworfen werden.

Andere Höhlentiere, z. B. der Höhlenkrebs (Cambarus pellucidus), zahlreiche Käfer, Spinnen, Tausendfüßer haben gar keine Augen, sie erinnern an die blinden Bewohner der Tiefsee und an die kambrischen Trilobiten (S. 65), deren Augenlosigkeit zu so seltsamen Hypothesen über die Urzeit unseres Planeten geführt hat. In den Höhlen der Schwäbischen Alb kommen eigentümliche Schnecken vor.

Siebenter Abschnitt.

Die Gletscher.

Erstes Kapitel. Wie Gletscher entstehen und sich bewegen.

Wir betreten jetzt ein Gebiet, um das seit Jahrzehnten ein erbitterter Kampf geführt wird. Keine andere geologische Kraft wird von den Beurteilern so verschieden eingeschätzt wie die Erosion durch Gletschereis. Während viele Forscher, darunter die angesehensten Namen wie Ramsay, Tyndall, Geikie, Penk, v. Drygalski, den Gletschern eine sehr weitgehende Erosionsfähigkeit zuschreiben und zum Teil geradezu von einer auspflügenden Tätigkeit (Exaration) des strömenden Eises sprechen, bestreiten Kjerulf, Heim und andere diese Wirkungen ganz und gar und wollen nur eine Glattschleifung und Aushebung des Gletscherbettes zugestehen. Ja, einzelne Forscher gehen so weit und sagen: Weil die Gletscher ihren Untergrund vor der Erosion des fließenden Wassers schützen, müssen sie einen konservierenden Einfluß auf den Felsboden ausüben; daher sind alle jetzt oder früher vergletscherten Gebiete weniger tief abgetragen als das umliegende, eisfrei gebliebene Land.

Um in diesen Streitfragen nach Möglichkeit ein eigenes Urteil zu gewinnen, müssen wir zunächst die wichtigsten physikalischen Eigenschaften der Gletscher sowie die Art ihrer Fortbewegung, ihr Strömen und Gleiten, näher kennen lernen. In früherer Zeit, solange die Eisregionen des Hochgebirges noch nicht wissenschaftlich erforscht waren, hat man vielfach die Gletscher für gefrorene Wasserfälle von riesigen Dimensionen gehalten, und eine ähnliche Ansicht findet man beim Verfasser des ältesten den Gletschern gewidmeten Spezialwerks, dem Schweizer Naturforscher Altmann, der im teleologischen Geist seines Zeitalters (Mitte des 18. Jahrhunderts) sein Wissen folgendermaßen zusammenfaßt: „Die helvetischen Eisberge sind nichts anderes als ein wahrhaftes und in allen Stücken vollkommenes Eismeer, welches von dem mächtigen und weisen Schöpfer auf diese hohen Berge gesetzt worden, damit dadurch die Luft der angrenzenden Örter gereinigt, und die Schweiz samt noch etwelchen anderen Ländern Europae mit Brünnen und Strömen versehen und bewässert würde.“ Eine wirkliche exakte Gletscherforschung datiert erst von den Reisen des vortrefflichen Genfer Naturforschers De Saussure, der im Jahre 1787 seine berühmte Ersteigung des Montblanc ausführte, Saussures „Voyages autour du Mont Blanc“ enthalten eine reiche Fülle scharfsinniger Beobachtungen über die Eiswelt der Alpen.

Gletscher gehen aus den Schneefeldern der Hochgebirge hervor, das ist heute eine allgemein bekannte Tatsache. Der Hochschnee ist physikalisch vom Schnee der Mittelgebirge und Niederungen nicht unerheblich verschieden, er ist weit pulveriger und besitzt demzufolge ein geringeres Eigengewicht. Wenn der Hochschnee Monate liegen bleibt, so verwandelt er sich allmählich in Firn,*) eine körnige, nicht mehr ballende Masse, die in ihrem Gefüge an die Oolithe (S. 35) erinnert und schwerer schmelzbar ist als der ursprüngliche Schnee. Es handelt sich hierbei um eine Umlagerung der Schneemoleküle, an der wahrscheinlich mehrere Ursachen mitwirken: zunächst der Druck der auf dem Firn lastenden Schneemassen, die durch jeden neuen Schneefall mächtiger werden; dann das häufige Eindringen von Tauwasser, was bei den jähen Temperaturschwankungen des Hochgebirges ein vielfaches, rasch abwechselndes Schmelzen und Wiedergefrieren zur Folge hat. Völlig aufgeklärt ist der ganze Vorgang noch nicht.

Die Umwandlung schreitet dann auf dem einmal eingeschlagenen Wege weiter fort: der noch ziemlich lockere Firnschnee wird zu festerem Firneis und dieses, in den tiefsten Lagen, zu kompaktem, bläulichem Gletschereis. Dabei

*) Firn bedeutet bekanntlich „vorjährig“, „alt“, Firnschnee also den im Vorjahr gefallenen (und liegengebliebenen) Schnee.

nimmt die Größe der einzelnen Eiskörner fortdauernd zu, ebenso auch die Dichte der ganzen Masse; während die winzigen, kaum millimetergroßen Firnkörner in der Regel noch durch einen feuchten Kitt aneinander haften, setzt sich fertiges Gletschereis aus großen, vielflächigen Stücken zusammen, die nur durch ein Netz feinster Haarspalten voneinander getrennt sind. Wie stark die Verdichtung ist, lehren folgende Zahlen: es wiegt im Durchschnitt 1 cbm frischgefallener Schnee 85, Firnschnee 5—600, Gletschereis 900 kg.

der „Firnlinie", tritt der vorher unter dem Firn versteckte Gletscher hervor und senkt sich als mächtiger Eisstrom oft tief unter die Region des ewigen Schnees hinab. Dabei folgt er dem Tale wie ein Fluß, macht alle Windungen mit, wird an einigen Stellen stark zusammengepreßt und breitet sich umgekehrt bei Erweiterung des Bettes aus, wobei oft weitreichende Längsspalten aufklaffen.

Wo die Talsohle ein gleichmäßiges, sanftes Gefälle besitzt, ist auch die Oberfläche der Gletscher ziemlich eben und zusammenhängend;

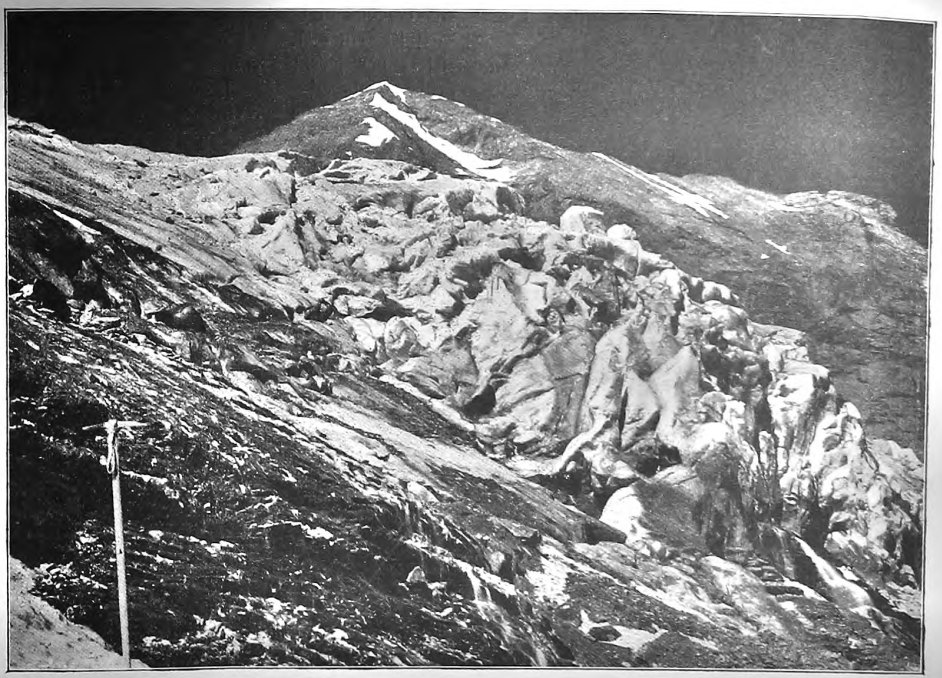


Abb. 230. Eisbruch am Rosenlauigletscher.

Firn entsteht nach reichlichen Schneefällen bisweilen auch in Mittelgebirgen und Hügelländern; hat doch Collomb in den Vogesen selbst echte, ziemlich weit vorgeschrittene Gletscherbildung vorgefunden. Aber in solchen Gebieten überdauern Ansammlungen vereisten Schnees unter keinen Umständen den Hochsommer. Anders in den oberen Regionen der Hochgebirge, wo der alte Schnee niemals ganz wegschmilzt und die Firnmassen allmählich ins Unendliche anwachsen müßten, wenn sie nicht nach unten preßten und dadurch langsam in die Täler hinabglitten. Bei einer gewissen Grenze, ändert sich aber das Gefälle plötzlich, oder sind Unebenheiten des Untergrundes zu überwinden, so zerbersten die Eismassen unter Bildung zahlreicher, oft breiter und sehr tiefer Querspalten. Wie Tyndall sagt: „Der Gletscher ist dann in der Lage eines Stockes, den wir zerbrechen wollen, indem wir seine beiden Enden halten und ihn gegen unser Knie stemmen." Den höchsten Grad erreicht die Zerspaltung der Gletscher bei plötzlichen, stufenartigen Abstürzen des Talbodens, dann zerbricht die ganze Eismasse in ein wildes Chaos großer und kleiner Blöcke mit tiefen Schrunden

dazwischen (Abb. 230). Solche Stellen gelten auch dem geübten Alpinisten als ganz unpassier-

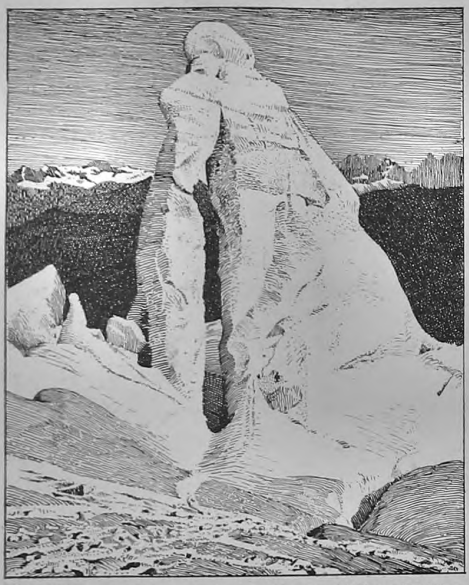


Abb. 231. Der Sérac de la Jonction am Bossons-Gletscher bei Chamonix.

bar. Bisweilen nehmen die einzelnen Gletschertrümmer die Gestalt spitzer Türme und malerischer Obelisken an — die Séracs der Walliser Alpen, von denen uns Abb. 231 ein prächtiges Beispiel vor Augen führt. Je kühner diese Gebilde aufsteigen, um so beschränkter ist ihre Lebensdauer; früher oder später stürzen sie unter donnerartigem Getöse zusammen und schicken schwere Eishagel in die Tiefe, die gelegentlich schon ganzen Bergsteigergesellschaften den Untergang gebracht haben.

Merkwürdig ist nun, daß die in Trümmer gegangenen Eismassen sich am Fuß des jähen Absturzes wieder zu einem zusammenhängenden Ganzen vereinigen. Wie unterhalb eines Wasserfalles die Wogen des Flusses sich allmählich glätten und zu einem ebenen Spiegel ausgleichen, so ist es auch mit dem Gletscher. Da man sich aber von vornherein schwer vorstellen kann, daß Eis wie Wasser talabwärts fließt, so möchte man die scheinbar einfachere Erklärung bevorzugen, daß die einzelnen Teile des Gletschers immer an den gleichen Stellen verharrten, wenn nicht eine Fülle wichtiger Beobachtungen das Gegenteil lehrte. Wie oben erwähnt, reichen zahlreiche Eisströme weit unter die Grenze des ewigen Schnees hinab. In den Alpen liegt diese Grenze heutzutage durchschnittlich bei 2750 m Höhe, die großen Gletscher dringen aber dort im Mittel bis zu 1500 m Meereshöhe in die Täler vor. Das auffälligste Beispiel einer weit vorgeschobenen Eiszunge liefert der jedem Besucher des Berner Oberlands wohlbekannte Untere Grindelwaldgletscher, dessen Ende vor einigen Jahrzehnten noch unter 1000 m Höhe lag, und der zeitweilig durch sein energisches Vorrücken den Bewohnern von Grindelwald heftigen Schrecken eingejagt hat. Seit 1870 ist er stark zurückgewichen, aber noch immer einer der am tiefsten hinabsteigenden geblieben.

Ein derartiges Beharren der Eisströme an Stellen, wo sie notwendig während des Sommers stark abschmelzen, ist natürlich nur möglich, wenn beständig neue Eismassen aus den Sammelbecken der Firnfelder in die Täler hin-

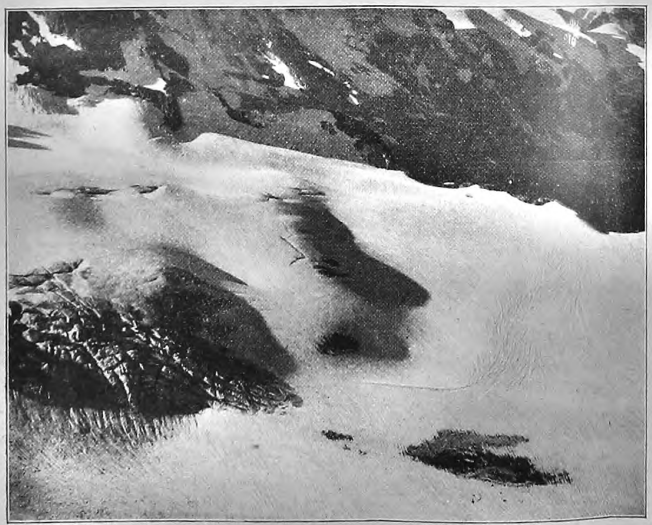


Abb. 232. Firn.

abfließen. Im oberen, d. h. höher im Gebirge gelegenen Teil des Gletschers ist die Abschmelzung gering; der fallende Schnee bleibt größten-

teils liegen und drückt auf die weiter talwärts lagernden Firnmassen, so daß sie sich nach dem Tale zu in Bewegung setzen. (Dies ist jedoch, wie wir später sehen werden, nicht die einzige Ursache der Gletscherbewegung.) Je weiter bergabwärts das Eis gelangt, um so kräftiger wirken Sonnenstrahlen und warme Luft, und unterhalb der Grenze des ewigen Schnees (vgl. oben) erlangt die Abschmelzung das Übergewicht über die Schneezufuhr aus der Atmosphäre. In diesem unteren Teil seiner Bahn kann sich der Gletscher nur halten, weil beständig neues Eis von oben zuströmt: die Schneefälle liefern ihm hier keine Nahrung mehr. Schließlich gelangt der Eisstrom an einen Punkt, wo genau so viel Eis abschmilzt, als von oben zufließt; hier ist das Ende des Gletschers.

Die Schneegrenze zerlegt also das Gebiet jedes Gletschers in zwei Teile: oben findet seine Ernährung, unten seine Vernichtung statt. Man darf sich dies jedoch nicht so vorstellen, als ob die Schneegrenze eine scharf definierte Linie bildete. Ihre genaue Lage ist gar nicht anzugeben; sie rückt in schneereichen Jahren weit ins Tal vor und zieht sich anderseits in bedeutende Höhen zurück, wenn mehrere trockene und warme Sommer aufeinander folgen. Mit anderen Worten: sie schwankt wie das Klima, von dem sie abhängig ist, um eine gewisse, mittlere Lage.

Für das Fließen und Gleiten der Eismassen gibt es auch mancherlei direkte Beweise, so das Wandern der Spalten, die stets an einer bestimmten Stelle aufreißen, sich ein Stück talwärts verschieben und dann wieder schließen, während an der Ursprungsstelle neue aufklaffen. Eine noch beredtere Sprache sprechen die langen, auf den Gletscheroberflächen sich hinziehenden Stein- und Schuttbänder, die man als Moränen bezeichnet.

Von den steilen Abhängen der Gletschertäler fallen dank der lockernden Tätigkeit des Spaltenfrostes, dem gelegentlich Sturzbäche und Lawinen zu Hilfe kommen, fortgesetzt (namentlich in den warmen Tagesstunden) Steintrümmer verschiedensten Umfangs herab, die auf dem Eise am Rande des Gletschers liegenbleiben und die beiden Seitenmoränen aufbauen.

Abb. 233. Gletscherlandschaft Wehrli A.-G. phot.

Stünde der Gletscher still, so müßten sich diese Trümmer an den Stellen, wo sie vorzugsweise herabstürzen, zu großen Haufwerken ansammeln, anderswo aber nur spärlich vorkommen. Jeder, der einmal von der Höhe aus einen Gletscher überblickt hat, weiß, daß das Bild ein ganz anderes ist, — die Moränen bilden ziemlich gleichförmige, fast lückenlose Schuttwälle, die den Eisstrom seiner ganzen Länge nach wie eine Einfassung begleiten. Untersucht man das Felsmaterial einer Seitenmoräne nahe dem unteren Ende des Gletschers, so findet man darin eine bunte Mischung aller Felsarten des vom Gletscher durchströmten Gebietes, selbst solche sind reichlich vertreten, die erst mehrere Kilometer weiter aufwärts an den Talwänden

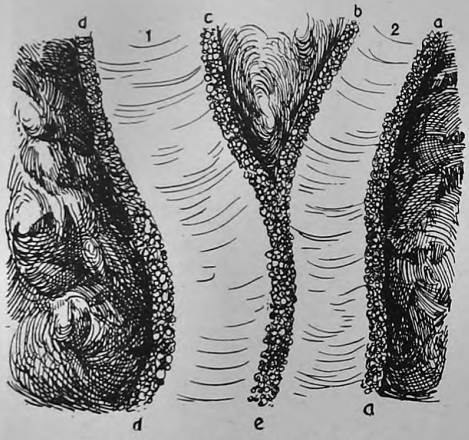


Abb. 234. Entstehung einer Mittelmoräne (a, b, c, d Seitenmoränen, e Mittelmoräne).

anstehen. Daraus ergibt sich mit Notwendigkeit ein steter Transport der Schuttmassen auf dem sich bewegenden Gletscher. Das Eis wird langsam unter den Felsgehängen hinweggeschoben, wobei die Moränen durch Niedersturz von Steinen fortwährend Zuwachs bekommen, so daß sie schließlich Abfälle aus allen Teilen des Tales enthalten.

Wie mehrere Bäche sich zu einem Fluß vereinigen, so verschmelzen auch häufig mehrere kleine Gletscher zu einem großen, mächtigen Eisstrom. Dabei kommen, wie Abb. 234 zeigt, die aneinandergrenzenden Seitenmoränen miteinander in Berührung und bilden auf dem Mittelrücken des neuentstandenen Hauptgletschers eine gemeinsame sogenannte Mittelmoräne. Die Entstehung einer solchen wäre ohne Bewegung des Eises ganz undenkbar, sie liegt weitab von den Talwänden, deren niederstürzende Trümmer gar nicht zu ihr gelangen. Theoretisch genommen, sollte jeder Hauptgletscher so viel Mittelmoränen besitzen, als er Zweiggletscher in sich aufgenommen hat, aber die Erfahrung lehrt, daß sich während des Vorrückens oft zwei Mittelmoränen miteinander oder eine Mittel- mit einer Seitenmoräne vereinigen. Die Ursache liegt bald in einer unregelmäßigen Bewegung des Eises, veranlaßt durch Unebenheiten des Untergrundes, bald in einem Abrutschen der Steine vom höheren Mittelrücken des Gletschers nach den tiefergelegenen Flanken.

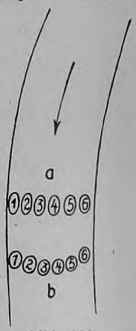


Abb. 235. Bewegung einer quer über den Gletscher gelegten Steinreihe.

Vielfach hat man auch die Fortbewegung der Gletscher und ihre Geschwindigkeit direkt gemessen und dabei gefunden, daß sie sich, wie die Flüsse, in der Mitte ihres Bettes am schnellsten, nach den Rändern zu langsamer bewegen. In der Mehrzahl der Fälle nimmt auch die Geschwindigkeit gegen das untere Ende hin allmählich ab, doch verursacht hier das wechselnde Gefälle mancherlei Störungen. Von den zahlreichen Methoden der Messung sei nur

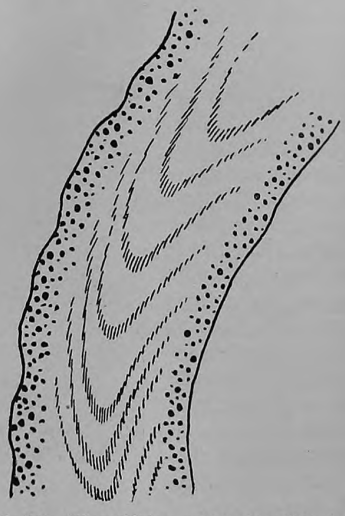


Abb. 236. Schmutzbänder auf der Oberfläche eines Gletschers.

eine einzige kurz beschrieben. Buntgefärbte, mit Nummern versehene Steine werden in einer geraden Linie quer über den Gletscher gelegt, und die beiden Endpunkte dieser Steinreihe an der festen Bergwand markiert. Nach einiger

Zeit kann man beobachten, wie die Steine sich von den Felsmarken entfernt haben; sie sind abwärts gewandert, und ihre ursprünglich schnurgerade Front hat sich in einen nach unten gekrümmten Bogen verwandelt (Abb. 235). Daraus ergibt sich, daß die mittleren Partien des Gletschers am schnellsten vorgerückt sind. Die gleiche Erscheinung tritt auch an den natürlichen Schmutzbändern des Gletschers hervor. Diese mit Schlamm und Sand erfüllten Furchen sind die Narben ehemaliger, längst

Bewegung ist 100000 bis 1 Million mal langsamer als die der Flüsse. Ein viel schnelleres Strömen des Eises hat man im Himalaja und in Grönland beobachtet. Für den Gletscher von Jakobshavn, einen der zahlreichen Ausläufer des grönländischen Inlandeises, hat Helland eine Geschwindigkeit von 14 mm in der Minute festgestellt, was mehr als 7 km im Jahr ausmacht; hier kann also das Auge bequem dem Fließen des Eises folgen.

Eine überraschende, gleichfalls in Grönland

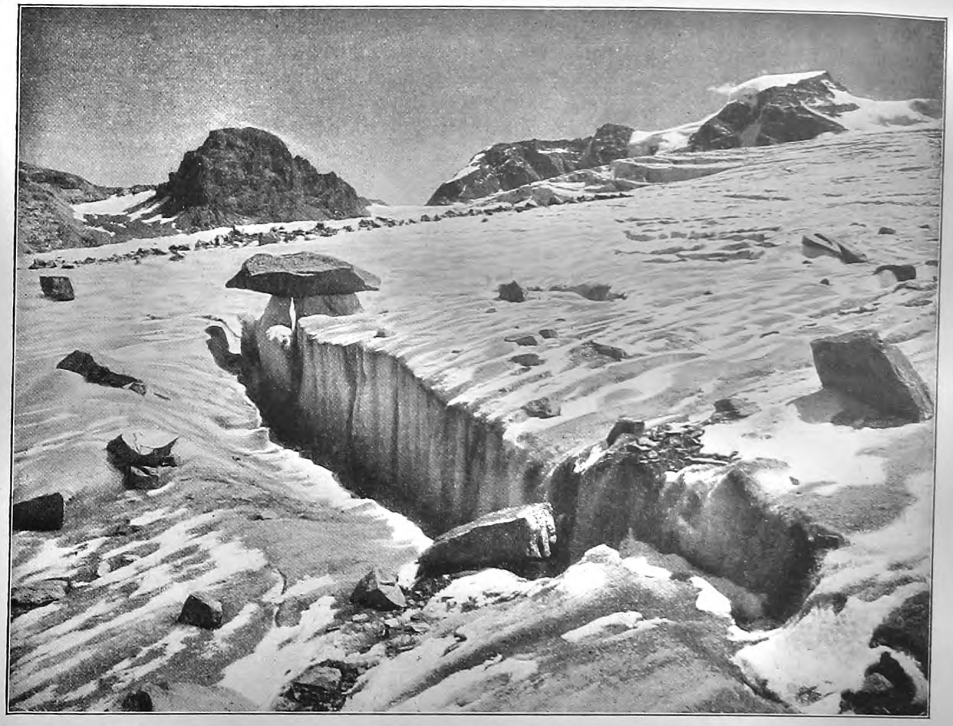


Abb. 237. Der Persgletscher im Oberengadin mit Querspalte, Gletschertisch und Mittelmoräne.

wieder geschlossener Querspalten, die zu spitzen, talabwärts gerichteten Winkeln ausgezogen sind (Abb. 236).

Die Gletscherbewegung rastet das ganze Jahr nicht, ist aber im Hochsommer, wenn die Eismassen von Schmelzwasser durchdrungen sind, viel erheblicher als im Winter. Im übrigen hängt sie von der Dicke des Eises, von der Beschaffenheit des Untergrundes und den klimatischen Verhältnissen ab, schwankt demnach in weiten Grenzen. Bei den europäischen Gletschern beträgt die Geschwindigkeit der mittleren Teile 40—110 m für das ganze Jahr. Diese

beobachtete Tatsache ist, daß Gletscher auch bergaufwärts zu strömen vermögen, wofern nur das Eis an den tiefer gelegenen Stellen seines Bettes eine genügende Mächtigkeit besitzt. Dieser Umstand ist für die Vergletscherung Norddeutschlands zur Eiszeit bedeutsam. Damals mußte das vom skandinavischen Hochgebirge herabflutende Eis durch das Becken der Ostsee hindurch, bevor es, wieder aufwärts klimmend, die norddeutsche Tiefebene erreichen konnte.

Auf der hier wiedergegebenen Ansicht des Persgletschers (Abb. 237) wird der Leser manche der bis jetzt geschilderten Erscheinungen

wiedererkennen. Der Persgletscher ist ein Nachbar des weltberühmten Morteratschgletschers bei Pontresina (Oberengadin); beide vereinigen sich unterhalb der durch ihre großartige Lage ausgezeichneten Felseninsel Isla persa zu einem der prächtigsten und interessantesten Eisströme der Alpen. Im Vordergrund des Bildes ist eine breite Querspalte aufgerissen, die am oberen Ende von einem Gletschertisch überragt wird. Man nennt so jene merkwürdigen, auf niedrigen Eissäulen ruhenden Felsblöcke, die den Eindruck hervorrufen, als sei das Eis an diesen Stellen in die Höhe gewachsen und habe die Steine mit sich emporgehoben. In Wirklichkeit war der Hergang ein ganz anderer: das Eis ringsum schmolz ab, und nur das direkt unter dem Block befindliche Stück blieb stehen. Wir kommen darauf weiter unten zurück. Im Hintergrund mündet in unseren Eisstrom ein kleinerer Zweiggletscher. An ihrer Vereinigung entsteht aus den zusammentreffenden Seitenmoränen eine starke Mittelmoräne, die als dunkler, zackiger Streifen über die Eisfläche abwärts zieht. Eine schwache, nur aus einzelnen Felstrümmern bestehende Mittelmoräne, deren Ursprung außerhalb des Bildes liegt, überquert auch die vorn sichtbare Spalte. Die Seitenmoräne unseres Gletschers haben wir ganz hinten an den Felswänden zu suchen; sie hebt sich wegen der großen Entfernung nur undeutlich von diesen ab. Schließlich sei auf die verschiedenen Firnmulden zwischen den hohen Felsgipfeln aufmerksam gemacht, wo sich die Ernährung des Gletschers vollzieht.

Wie kommt nun eigentlich die Gletscherbewegung zustande? Handelt es sich um ein einfaches Herabgleiten der Eismassen als Ganzes oder um ein wirkliches Fließen, wobei die kleinsten Teilchen des Gletschers in beständiger Verschiebung sind? Eine weitere Frage ist die nach der bewegenden Kraft — die Erdschwere ist zweifellos beteiligt, aber wirken nicht vielleicht noch andere, im Innern des Gletschers tätige Kräfte mit? Bei der Fülle interessanter Einzelheiten, mit denen das nähere Studium der Gletscherbewegung die Wissenschaft bereichert hat, ist es keineswegs verwunderlich, daß im Lauf der Zeit eine ganz erkleckliche Zahl — mehr als ein halbes Hundert — Hypothesen die Lösung des schwierigen Problems versucht haben. Der Leser wird uns beistimmen, wenn wir auf eine Kritik der entgegenstehenden Meinungen verzichten und nur die wichtigsten Punkte hervorheben, auf die sich jeder Erklärungsversuch stützen muß.

Zunächst steht fest, daß Gletschereis in gewissem Sinne ein plastischer Körper ist. Gewöhnliches Eis, wie es sich im Winter auf Flüssen und Seen bildet, ist spröde, d. h. es zerbricht, wenn stärkerer Zug oder Druck darauf ausgeübt wird, während Gletschereis sich wohl Zugkräften gegenüber spröde erweist (wie die Spaltenbildung zeigt), aber auf Druck eher wie ein weicher, dickflüssiger Körper reagiert. Allerdings ist dies keine echte Zähflüssigkeit, wie z. B. beim Honig und Teer, vielmehr wird das Fließen der Gletscher aller Wahrscheinlichkeit nach durch die Regelation (Wiedergefrieren) bewirkt. Man versteht darunter die Eigenschaft des Eises, unter starkem Druck schon bei Temperaturen unter 0° zu schmelzen und bei Nachlassen des Druckes wieder zu gefrieren. Unter hohem Druck sinkt, wie schon bei früherer Gelegenheit ausgeführt wurde (S. 122), der Gefrierpunkt des Wassers, es entsteht zwischen den Körnern des Gletschereises etwas Schmelzwasser, das kälter ist als 0°. Dieses Wasser wird von den talaufwärts gelegenen, abwärts drückenden Eismassen herausgepreßt und gelangt zum Teil in Schichten des Gletschers, wo ein geringerer Druck herrscht, wo es also sofort wieder gefriert. Anderseits macht die Gegenwart des in jedem kleinsten Zeitmoment neuentstehenden Schmelzwassers den Gletscher plastisch und befähigt ihn, unter dem Druck der nachrückenden Eismassen talabwärts zu fließen. Alle diese Vorgänge spielen sich unablässig an jedem Punkt des Gletschers ab, es ist ein beständiges Schmelzen und Wiedergefrieren, ein Gleiten und Nachrutschen der kleinsten Teilchen, woraus sich auch wohl das leise Knistern erklärt, das im Innern der Gletscher fortwährend hörbar ist.

Beifällig sei erwähnt, daß die Eskimos von der Tatsache der Regelation seit alters praktischen Gebrauch machen. Wenn die Decke der Schneehütte anfängt zu tropfen, so nimmt der Insasse ein Stück harten Schnees, behaucht es und drückt es an die schadhafte Stelle; dabei bildet sich zwischen Decke und Schneestück eine dünne Wasserschicht, die bei Nachlassen des mit der Hand ausgeübten Druckes sofort wieder gefriert und ein förmliches Zusammenleimen der beiden Teile besorgt, wodurch die tropfende Lücke geschlossen wird.

Bei günstiger Beleuchtung erkennt man, namentlich in den unteren Partien, eine blauweiße Bänderung des Gletschers. Diese kommt durch Wechsellagerung verschiedenartig beschaffener Eisschichten zustande. Das Eis der

weißen Lagen ist schaumig und ziemlich undurchsichtig, eine Folge der zahllosen in ihm enthaltenen Luftbläschen. Im Gegensatz dazu ist das blaue Eis dicht, fast frei von Poren und Bläschen, sehr gleichmäßig beschaffen und schön durchsichtig. Zweifellos hat sich das blaue Eis erst nachträglich aus dem weißen gebildet, und man glaubt, daß auch hierbei die Regelation im Spiele ist. Das durch Druckverflüssigung entstandene Schmelzwasser treibt schichtweise die Luftblasen aus, nimmt deren Stelle ein und gefriert wieder, wodurch einzelne Lagen des porösen schaumigen Eises eine dichte, kompakte Beschaffenheit gewinnen.

Wo der Gletscher genügenden Raum hat, sich auszubreiten, liegen die miteinander abwechselnden Bänder annähernd wagerecht; findet er aber irgendwelchen Widerstand, so werden die Eislagen in mannigfacher Weise zusammengepreßt. Hier verlaufen sie wellen-, dort zickzackförmig, häufiger noch sind sie in der Mitte des Gletschers senkrecht gestellt und fallen an beiden Seiten gegen die Mitte ein, so daß ein Querschnitt durch den Eisstrom das Bild eines kolossalen Fächers liefern würde. In anderen Fällen erscheint das weiße Eis wie gemasert durch ein zierliches blaues Aderwerk. Alle diese Erscheinungen werden durch starke Pressungen hervorgebracht, man kann daher die Bänderung der Gletscher sehr wohl mit der Schieferung der Gesteine vergleichen.

Auch das gewöhnliche blasenerfüllte Gletschereis ist nicht völlig weiß, sondern etwas bläulich, häufig auch durch Spuren von Staub und Schlamm verunreinigt. Sehr auffällig heben sich von der matten Oberfläche blendend weiße Bänder ab, die oft quer über den Gletscher wegziehen, ohne weit in die Tiefe zu reichen. Sie sind aus Winterschnee entstanden, der Querspalten ausgefüllt hat und durch Druck in Eis verwandelt worden ist.

Eine natürliche Folge des Fließens der Gletscher ist, daß alle in den Eisstrom geratenen Fremdkörper nach einer gewissen Zeit (die sich bei der langsamen Bewegung meist auf Jahrzehnte beläuft) am unteren Ende wieder zum Vorschein kommen. So ist es öfter mit Eispickeln, Bergstöcken, Rucksäcken, Taschenuhren und anderen von Bergsteigern verlorenen Gegenständen gegangen, auch Knochen und mumifizierte Überreste von Ziegen, Rindern, Gemsen, die sich vor unbekannt langer Zeit auf den Gletscher verirrt haben und in Spalten gestürzt sind, findet man in den Endmoränen vor.

Nicht ohne tiefere Erschütterung wird man von dem traurigen Schicksal lesen, das vor bald hundert Jahren die Expedition des Russen Dr. Hamel im Montblancgebiet ereilte. Dieser Reisende bestieg 1820 mit zwei Gefährten und acht Führern den Abhang, der zu den Rochers Rouges hinaufführt. Unglücklicherweise bildete den Untergrund des Schneefeldes glattes Eis; unter den Füßen der Bergsteiger spaltete sich das Schneefeld, begann mit krachendem Geräusch zu rutschen und riß die Hälfte der Gesellschaft mit sich fort; der obere Teil des Feldes, seiner Stütze beraubt, glitt ebenfalls hinab und fegte die noch übrigen hinweg. Drei Führer wurden in eine Spalte geschleudert und fanden ihren Tod. Einundvierzig Jahre später kamen in den untersten Spalten des Glacier des Bossons folgende Reste zum Vorschein: Teile von zwei Schädeln, Haare und Kinnbacken mit Zähnen, ein Vorderarm mit der zugehörigen Hand, an der nur ein Finger fehlte; ein linker Fuß noch mit Fleisch und Mark; mehrere Rippen, zahlreiche Wirbel und noch andere menschliche Reste; außerdem eine Menge zerbrochener und zerrissener Gegenstände: Kleiderfetzen, Hüte, Schuhe, eiserne Beschläge, Laternen und Stücke einer als Proviant mitgenommenen Hammelkeule. Einer der überlebenden Führer, damals 72 Jahre alt, konnte die Reste teilweise an der Haarfarbe, an den Kleidern usw. identifizieren. Die vom Gletscher ausgeworfene Hand erkannte er als die seines Kameraden Pierre Balmat. In den folgenden drei Jahren kamen noch viele andere Reste ans Tageslicht. Der Körper des englischen Kapitäns Arkwright, verunglückt 1866, wurde fast vollständig im August 1897 wiedergefunden; nur die beiden Füße fehlten; der eine kam erst im Mai 1899, der andere acht Tage später mit der goldenen Uhr des Verunglückten zum Vorschein. Arkwright war an derselben Stelle wie die Hamelsche Expedition abgestürzt, ebenfalls durch einen Schneebruch.

Die grausige Zerstückelung der Verunglückten, eine Folge der starken Pressungen im Innern des Eisstroms, hat gelegentlich in den Köpfen phantasievoller Schriftsteller seltsame Ideen erweckt. Sie schrieben dem Gletscher eine eigentümliche, geheimnisvolle Kraft der Selbstreinigung, eine Art organischer Verdauung, zu. Schon der alte Sebastian Münster meinte, der Gletscher purgiere sich selber, bis er rein würde wie ein Kristall. Wenn man,

schreibt Cotta, diese naturhistorischen Schwärmereien liest, so möchte man beinah glauben, die Gletscher sperrten nur deshalb ihre Spalten auf, um unvorsichtige Gemsen oder Naturforscher darin zu fangen, zu verspeisen und später ihre Knochen wieder auszuspucken.

Zweites Kapitel. Die Abschmelzung und ihre Wirkungen.

Im unteren Teil seines Laufes erleidet jeder Gletscher während des Sommers beträchtliche Erniedrigung durch andauerndes Abschmelzen. Es ist eine bekannte Regel der Hochtouristik, daß Gletscherwanderungen, wenn irgend möglich, in der Nacht oder am frühen Morgen gemacht werden sollen, aber nicht immer läßt sich diese Regel durchführen. Wer einen Gletscher etwa um Sonnenaufgang passiert hat und ihn auf dem Rückwege um die Mittagszeit wieder betritt, wird erstaunt sein, wie sehr sich

Wehrli A.-G. phot.
Abb. 238. Vor der Gletschermündung.

das Bild, namentlich an sonnigen Tagen, verändert hat. An Stelle der starren, todesähnlichen Ruhe, die vorher das weite Eisfeld im Banne hielt, ist eine fast unheimliche Lebendigkeit getreten. Von tausend Rinnen und Rinnchen ist die Oberfläche durchfurcht, in denen Fäden prächtig grünen Schmelzwassers singend und rieselnd dahineilen, um sich nach kurzem Lauf zu förmlichen Bächen zu vereinigen, deren Bett aus durchsichtig-bläulichem Gletschereis besteht. Über die völlig aufgeweichte Oberfläche des schwitzenden Gletschers dahinzuwandern, ist keine angenehme Aufgabe, man watet in einem Gemisch von halbgeschmolzenem Eise und eiskaltem Wasser; wer dabei nicht derb zutritt, kann versichert sein, alle zwei bis drei Minuten einen plötzlichen Fall in den eisigen Brei zu tun. Am Nachmittag schwellen manche der oberflächlichen Schmelzbäche dermaßen an, daß sie kaum noch übersprungen werden können. Sinkt dann die Sonne hinter die Talwände, so verstummt allmählich das Rieseln und Rauschen, der Rest des Schmelzwassers läuft ab oder erstarrt unterwegs in den feinen Rinnsalen, und die Kälte der Nacht schlägt den Gletscher wieder in feste Banden.

Aber im Innern des Eisstroms und auf seinem Grunde dauern die Schmelzvorgänge auch während der Nacht, ja während des ganzen Winters an. Das zeigt sehr augenfällig der Gletscherbach, dessen Wasser das ganze Jahr hindurch, wenn auch im Winter bedeutend vermindert, unter dem Eise hervorquillt. Wie mag das zugehen? Im Sommer sehen wir die oberflächlichen Schmelzbäche nach kürzerem oder längerem Lauf in den Tiefen des Eiskörpers verschwinden, sie stürzen entweder in die Spalten hinab oder bohren an schwachen Stellen des Eises rundliche Schlote mit senkrechten, vom Wasser kannelierten Wänden aus, die sogenannten Gletschermühlen oder Eisbrunnen. Ihre Tiefe erreicht oft 100 m und mehr, ja manche scheinen die ganze Gletschermasse bis zum Grunde senkrecht zu durchsetzen; so fand Agassiz bei der Auslotung eines im Unteraargletscher gelegenen Eisschachtes bei 260 m Tiefe noch keinen Grund. Viele Gletschermühlen sind nach unten schlauchartig gewunden und gehen in ein verwickeltes Kanalsystem über, das in allerlei Windungen und Verzweigungen bis auf den felsigen Boden hinabreicht. Auf allen diesen Wegen strömen die von der Oberfläche kommenden Wasserläufe der Tiefe zu und fließen am Grunde zu einem ansehnlichen Bache zusammen, der schließlich am Ende des Gletschers aus einer höhlenartigen Öffnung, dem Gletschertor, hervorbricht (Abb. 238).

Aber dieser Bach muß noch andere Quellen haben, da er ja auch im Winter läuft. Offenbar finden an der Unterseite des Gletschers fortdauernd Schmelzvorgänge statt, die von der Tages- und Jahreszeit sowie von der Witterung ganz unabhängig sind. Als Wärmequelle kommt

zunächst das Erdinnere in Betracht. Der Erdboden gibt die ihm aus dem Innern zuströmende Wärme durch Ausstrahlung an die Luft ab; wo er aber von Eis bedeckt ist, empfängt das Eis diese Wärme, die unmittelbar dem Boden aufliegende Schicht des Gletschers muß somit zu Wasser werden. Was die jahreszeitlichen Temperaturunterschiede betrifft, so versteht es sich wohl von selbst, daß sie am Grunde einer mehrere hundert Meter dicken Eismasse überhaupt nicht mehr fühlbar sind; es herrschen dort während des ganzen Jahres Temperaturen nahe bei 0°.

Der Gletscher ist also an seinem Boden nicht angefroren, sondern ruht nur an einzelnen Stellen auf, im übrigen befinden sich zwischen Fels und Eis zahlreiche große und kleine, hohe und niedrige Hohlräume, in die man unter günstigen Umständen sogar hinabsteigen kann. Das Farbenspiel des Eises in solchen Höhlen, besonders in der Nähe breiter Spalten, die dem Tageslicht Zutritt gewähren, wird von den Beobachtern als eine der wunderbarsten Erscheinungen der Gletscherwelt gepriesen. Bei dieser Gelegenheit sei eine merkwürdige Wahrnehmung erwähnt, die der schweizerische Forstbeamte Coaz (bekannt als erster Ersteiger der Berninaspitze) in einer tiefen Höhle des Morteratschgletschers machte. Er beobachtete über seinem Kopfe einen kleinen, etwa einen Fuß Breite messenden Bach, der an der etwas geneigten Eisdecke, scheinbar das Gesetz der Schwere verachtend, in raschem Strome dahinfloß. Coaz nannte dies später noch mehrfach beobachtete Phänomen einen „hangenden Bach".

Neben der Erdwärme wirken noch andere Ursachen an der Unterschmelzung des Gletschers mit, doch beschränkt sich ihre Tätigkeit fast ausschließlich auf die warme Jahreszeit. Von den felsigen Gehängen stürzen Bäche herab, die Abflüsse höher gelegener Eis- und Schneefelder; ihr Wasser findet durch die sogenannten Randspalten, die an vielen Stellen zwischen dem Gletscher und seinem Felsufer klaffen, leicht den Weg unter das Eis, wo sie an der Unterschmelzung kräftig mitarbeiten. In demselben Sinne wirkt die von den Wasserstürzen mit in die Tiefe gerissene warme Luft.

Nun noch einige Worte über das Produkt aller dieser Schmelzvorgänge, über den Gletscherbach. Daß sein Wasserstand recht veränderlich ist, daß er eine Tages- und Jahresperiode hat und auch von den Witterungsverhältnissen stark abhängig ist, versteht sich nach unseren früheren Ausführungen von selbst. Die tägliche Hochflut des Baches tritt nicht in den wärmsten Tagesstunden, sondern etwas später, bei großen Gletschern erst gegen Abend ein; denn die von oben kommenden Schmelzwasser brauchen geraume Zeit, um durch die feinen Spalten und das vielfach verzweigte Kanalsystem ihren Weg bis auf den Grund zu finden. Dementsprechend ist der frühe Morgen die Zeit des niedrigsten Wasserstandes. Was die jährliche Periode betrifft, so zeigt sich vom Beginn der Schneeschmelze im Frühling eine stete Zunahme der Wassermenge bis zum Hochsommer, worauf gegen den Herbst eine ganz allmähliche Abnahme erfolgt. Dann bleibt im Winter die Wasserführung fast ein halbes Jahr sich gleich; selbst bei strengstem Frost, wenn alle anderen Bäche zugefroren sind, fließt der Gletscherbach unverändert fort. Die Unterschiede zwischen sommerlichen und winterlichen Abflußmengen sind sehr bedeutend; in den Ostalpen betragen erstere durchschnittlich das Fünffache der letzteren, ja die Rhone führt beim Austritt aus dem Gletscher im Hochsommer zwanzigmal soviel Wasser zu Tal als im Januar und Februar.

Weil die Gletscherbäche eine Unmenge feiner Schlammteilchen mit sich fortreißen, sind sie anfangs im Gegensatz zu den kristallklaren Schmelzwassern der Eisoberfläche sehr trübe (milchig-weiß oder bräunlich), werden aber nach kurzem Lauf, wenn der Schlamm abgesetzt ist, klar und zeigen dann oft eine schöne grüne Färbung. Manche bedeutende Ströme, z. B. Rhone, Rhein, Ganges, gehen mit vielen ihrer Nebenflüsse aus Gletscherbächen hervor.

Die schmelzende Kraft der Sommersonne wirkt in mannigfacher Weise modellierend auf die Oberfläche der Eisströme. Bekanntlich nehmen dunkle Körper erheblich mehr Wärme in sich auf als helle; da nun der Gletscher fast überall von winzigen Steinen, Sandkörnchen, Staubteilchen, Überresten von Insekten usw. bedeckt ist, die der Wind über die weite Fläche verweht, so werden alle diese Fremdkörper, von der Sonne beschienen, sich stärker erhitzen als das Eis und Löcher in die Oberfläche einschmelzen. Dadurch bekommt diese ein höckeriges, zerfressenes Aussehen. Liegt irgendwo eine zusammenhängende, doch nur dünne Anhäufung von Sand, so entsteht eine größere, mit Wasser gefüllte Schmelzwanne, die sich schräg gegen Nord ins Eis einsenkt, so daß ein hineingestellter Bergstock mit dem oberen Ende gegen Süden weist. Wegen dieser eigentümlichen Gestalt, die

von der stärkeren Schmelzwirkung der Sonne in den Mittagstunden herrührt, hat man solchen Wassergruben den Namen Mittagslöcher gegeben.

Ganz andere Folgen treten ein, wenn Felsblöcke auf dem Eise liegen, die zu groß sind, als daß sie im Lauf eines Tages von den Sonnenstrahlen ganz durchwärmt werden können. Solche Blöcke wirken im Gegenteil schützend auf ihre Unterlage. Während rings um sie herum der Gletscher durch Abschmelzungen immer niedriger wird, bleibt das unter ihm befindliche Eis erhalten und nimmt allmählich die Gestalt eines Pfeilers an, der den Felsblock trägt. So entstehen die sogenannten Gletschertische (Abb. 237). Aber diese merkwürdigen, in der Eiswelt der Montblanckette besonders

Abb. 239. Büßerschnee.

häufigen Gebilde sind sehr vergänglich: der Eisfuß schmilzt ab, und zwar am stärksten auf der Südseite, so daß sich die Steinplatte mehr und mehr nach Süden überneigt. Endlich rutscht sie ganz hinunter, und nun kann an der Stelle, wohin sie zu liegen kommt, ein neuer Tisch entstehen. Der ganze Vorgang wiederholt sich an manchem Block mehrmals im Lauf eines Sommers, wodurch solche Steine auf südwärts geneigten Gletschern allmählich bergab wandern und sich immer mehr von der Moräne entfernen, zu der sie ursprünglich gehörten.

Im Grunde sind sonach die Gletschertische etwas Ähnliches wie die früher (S. 224) beschriebenen Erdpyramiden, in beiden Fällen schützt ein Felsblock die weichen oder lockeren Massen, auf denen er ruht, vor der Zerstörung und Fortführung. Eine andere Art merkwürdig modellierter Gletscheroberflächen kann man mit den Karrenfeldern der Kalkalpen vergleichen. Wir meinen den Büßerschnee (span. las nieves penitentes) oder Zackenfirn der südamerikanischen Anden, in dessen seltsamen Formen die phantasievollen Spanier betende Gestalten im Büßergewande zu erkennen glauben. Die ganze Eismasse ist aufs vollkommenste in Pfeiler, Pyramiden und Spitzsäulen verteilt, die so dicht nebeneinander stehen, daß eine Begehung dieser Art Gletscher geradezu unmöglich ist (Abb. 239). In anderen Fällen gleichen die Penitentes ungeheuren, mit Riesenkerzen dicht bepflanzten Feldern.

Mit prächtigen Worten schildert den Büßerschnee der bekannte Reisende Güßfeld: „Ein Höllenbreugel hätte sich hier Motive holen können. Man glaubt alle denkbaren Formen gesehen zu haben, und dann erscheinen plötzlich ganz neue, welche unsere Verwunderung nie zur Ruhe kommen lassen. Figur reiht sich an Figur, jede hoch und starr aufgerichtet, übermenschlich groß, eine jede von ihren Nachbarn verschieden, und alle scheinen, versteinerten Sündern gleich, auf ein erlösendes Zauberwort zu harren. Den phantastischen Unregelmäßigkeiten dieser tausendfältigen Formen dient die regelmäßige Anordnung zu geradlinigen parallelen Reihen als Folie, als der Ausdruck, daß ein gemeinsames Gesetz sie alle bindet. Man muß diese Kerzenfelder nachts im bleichen Mondschein gesehen haben, wenn die Seele zum Außerirdischen neigt, besonders solche Felder, bei welchen der Schnee in allen Furchen und zwischen den Figuren ganz weggeschmolzen ist, so daß letztere nun isoliert und weiß aus dem schwarzen vulkanischen Boden aufragen."

Die Masse des Zackenfirns ist kein echtes Gletschereis, sondern ein Mittelding zwischen diesem und lockerem Firnschnee, daher auch ihre leichte Formbarkeit durch die auflösenden Kräfte der Atmosphärilien. Nach W. H. Workman sind bei der Bildung des Zackenfirns zwei verschiedene Kräfte tätig: zunächst ein starker, wochenlang aus einer Richtung wehender Wind, der den Schnee in parallele Wellen und Kämme anordnet und ihn an manchen Stellen dichter zusammenballt als an anderen; dann

eine auf die Schneefälle folgende lange Periode schönen Wetters, in der die lockeren Teile von der Sonne weggeschmelzt werden, während die dichteren als Büßerschnee stehenbleiben.

Wenn nun schon einzelne Felsblöcke das Eis vor dem Schmelzen schützen, so müssen es erst recht die aus Tausenden von Steinen aufgehäuften Moränen tun. In der Tat sind die Moränen der Hauptsache nach keine Stein-, sondern Eiswälle, oft erheben sie sich zwanzig und mehr Meter über die schuttfreie Umgebung, aber der Schutt bildet nur eine verhältnismäßig dünne Decke, im Innern bestehen sie aus Eis, das vereinzelte Felsbrocken und Schuttbänder enthält. Der Querschnitt einer Oberflächenmoräne wird sich demnach so darstellen, wie Abbild. 240 zeigt. Wo das Gebirge aus stark zerrüttetem und brüchigem Gestein zusammengesetzt ist, ereignet es sich wohl, daß die gesamte Gletscherfläche von einem dicken, zusammenhängenden Schuttmantel bedeckt wird, also der ganze Gletscher sozusagen eine einzige ungeheure Moräne bildet. Nach G. G. Merzbachers Schilderung ist dies in besonders hohem Grade der Fall bei den Gletschern des Tian-Schan, des zentralasiatischen Himmelsgebirges. Viele der dortigen Eisströme hält man bei flüchtiger Betrachtung für große Schutthalden.

„Dem Inyltschekgletscher", schreibt Merzbacher, „liegt ein Chaos von Riesenblöcken auf, untermischt mit kleineren Gebirgstrümmern, alles mit Schutt und Zement verbunden. Diese Schutthülle besitzt eine Mächtigkeit von mehr als hundert Meter; sie ist durch atmosphärische Einflüsse sowie durch Erosion und Gletscherbewegung in ein Gebirge umgewandelt worden, in Täler, Ketten, Gipfel, Mulden, Kessel; kurz sie hat ganz das Relief eines Gebirges angenommen. Die Überschreitung dieses Schuttgebirges gestaltet sich daher ungemein mühsam und zeitraubend; man erklimmt hohe Trümmerkämme und muß sogleich wieder hinab in einen tiefen Graben oder Trichter und auf der anderen Seite ebenso hoch hinauf, was besonders dann recht unangenehm wird, wenn am Gehänge blankes Eis zum Vorschein kommt. Bei aller Anstrengung vermag man auf solchem Terrain an einem Tage kaum mehr als 6—8 km zurückzulegen."

Abb. 240. Querschnitt einer Oberflächenmoräne.

Drittes Kapitel. Glaziale Ablagerungen.

Die vom Gletscher beförderten Trümmermassen häufen sich an seinem unteren Ende zu gewaltigen Ablagerungen, den End- oder Stirnmoränen, an. Die Stirnmoräne eines stationären, d. h. weder vorrückenden noch zurückweichenden Gletschers bildet gewöhnlich einen talabwärts gekrümmten, fast halbkreisförmigen Wall, der oft 50, ja 100 m Höhe erreicht (Abb. 241). Solche Wälle findet man in den Alpen und anderen Hochgebirgen häufig kilometerweit vom heutigen Eisrand entfernt, ein Zeugnis dafür, daß die Gletscher einst viel tiefer in die Täler hinabreichten. Bisweilen durchziehen mehrere Endmoränen in parallelen Reihen hintereinander das Tal, woraus zu schließen ist, daß der betreffende Gletscher seinen Rückzug mehrmals für längere Zeit unterbrach und dann an seiner jedesmaligen unteren Grenze einen Trümmerwall aufschüttete. Bei Gletschern, die nicht schrittweise, sondern stetig und gleichmäßig zurückweichen, können sich keine wallförmigen Ablagerungen entwickeln; die Stirnmoräne breitet sich hier als weites, ziemlich ebenes Schuttfeld über den eisfrei gewordenen Talboden aus, eine Erscheinung, die gegenwärtig in den Alpen besonders häufig beobachtet werden kann.

Untersucht man das Material der Oberflächenmoränen, so findet man darin, abgesehen von feinem Kies und Schlamm, lauter eckige, scharfkantige Felstrümmer, die ganz regellos, ohne Spur einer Sonderung nach der Größe, durcheinandergeworfen sind. Es ist dies ganz natürlich: bei der langsamen Fortbewegung auf dem Rücken des Eises werden die Steine nicht, wie es im fließenden Wasser geschieht, aneinander oder auf hartem Felsgrunde gerieben und abgescheuert, müssen daher ihre ursprüngliche eckige Form bewahren. Prüft man aber die Bestandteile einer Endmoräne, so zeigt sich alsbald, daß sie von zweierlei Herkunft sind. Neben zahlreichen scharfkantigen Blöcken, die zweifellos von der Oberfläche des Gletschers herabgerollt sind, finden sich viele mehr oder

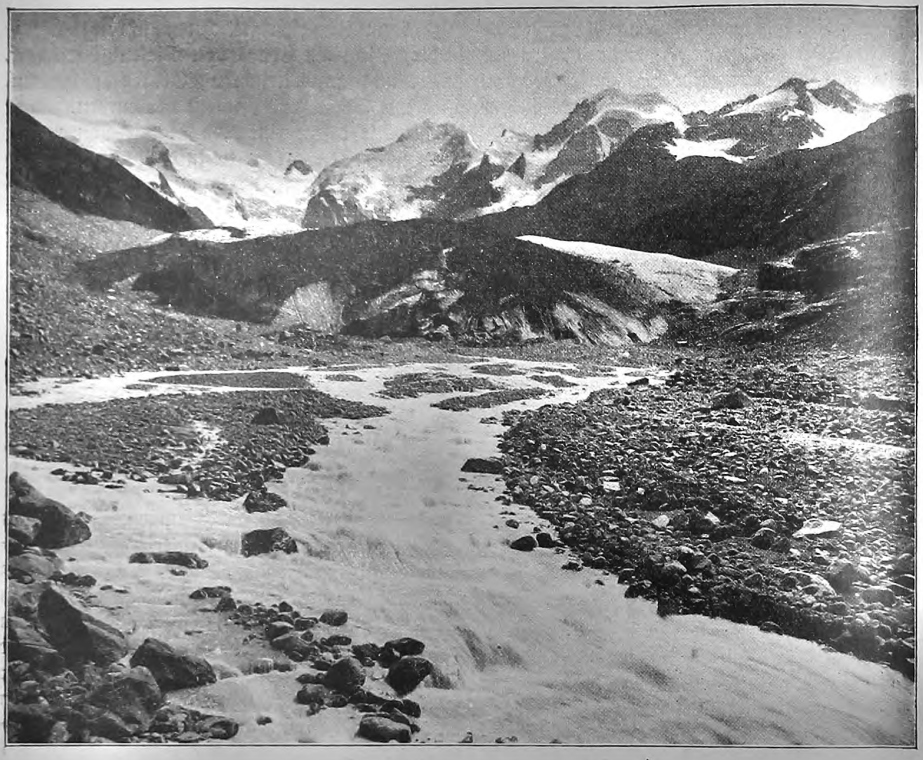


Abb. 241. Endmoräne des Morteratsch-Gletschers. Chr. Meißer, phot.

weniger abgerundete, wie poliert aussehende Stücke. Ja, häufig entdeckt man auf der geglätteten Oberfläche dieser Gerölle eigentümliche, wie von stählernen Werkzeugen eingeritzte Schrammen und feine Streifen (Abb. 242). Diese „gekritzten" Geschiebe oder Scheuersteine sind für uns eine ganz neue Erscheinung; in den Sedimenten des fließenden Wassers fehlen sie ebenso wie in den Geröllmassen am Meeresstrande. Welche Kraft vermochte in dem harten Felsmaterial solche Zeichen einzugraben, und wie kam die auffällige Politur und rundliche Form der Reibsteine zustande?

Der Gletscher, lautet die Antwort, führt auch auf seinem Grunde Schuttmassen mit sich fort. Durch das beständige Schieben und Scheuern auf dem felsigen Gletscherboden und durch gegenseitige Reibung werden die Felstrümmer teils zu feinem Sand und lehmigem Brei zermalmt, teils abgerundet, angeschliffen und geglättet. Dabei wirkt der feine Sand, dessen winzige Körnchen oft sehr scharfkantig sind, als Poliermittel, gröberer Kies erzeugt auf den Geröllen parallele Schrammen, und auch die größten Steine bringen einander Furchen und Streifen bei. Sehr begünstigt werden alle diese Vorgänge durch den gewaltigen Druck am Grunde des Gletschers. Er bewirkt, daß nicht nur Geschiebe von gleicher Härte sich gegenseitig ritzen und abscheuern, sondern auch weiche Gesteine die harten schrammen. Man hat Versuche angestellt, ob dies möglich sei, und gefunden, daß z. B. weicher lithographischer Schiefer harten Granit ritzt, wenn er unter genügender Pressung über diesen hinweggeschoben wird.

Die auf dem Gletscherboden fortbewegten Trümmermassen heißen Grundmoränen. An Stellen, wo es möglich ist, zwischen Eis und Felsbett einzudringen, kann man sie direkt beobachten. In der Regel ist das Material der Grundmoräne mit den untersten Eisschichten selbst verwachsen, die dann schmutzig aussehen, viel Schlamm und zahllose eingebackene Steine enthalten, manchmal bildet es auch eine eigene Schicht von nassem Schlamm und Sand mit darin eingebetteten Blöcken. Wir haben oben gesehen, daß die Gletscher nur an einzelnen

Stellen direkt auf dem Talboden ruhen, viele der dazwischen befindlichen Lücken werden von der Grundmoräne ganz oder teilweise ausgefüllt. Nun verstehen wir auch, warum die Gletscherbäche anfangs so trübe fließen, — ihr Schlamm stammt aus der Grundmoräne. Im Hochsommer ist die Menge des von ihnen fortgeschwemmten Schlammes recht bedeutend und beläuft sich bei großen Gletschern auf Hunderttausende von Kilogramm in einem einzigen Tage. Genauere Messungen haben jedoch ergeben, daß von einem Tag zum anderen oft starke Schwankungen vorkommen, deren Ursache noch nicht hinreichend aufgeklärt ist. So untersuchte Oeyen am 28. Juli 1891 die Schlammführung eines norwegischen Gletscherbaches und fand im Kubikmeter 547 Gramm feste Stoffe, am folgenden Tag aber war diese Zahl auf 36 Gramm zurückgegangen. Ähnliche Unterschiede hat man an den Abflüssen der bedeutendsten Eisströme der Montblanc-Kette beobachtet.

Während sich die Entstehung der Oberflächenmoränen ohne Schwierigkeit aus der oft beobachteten Tatsache erklärt, daß an zahlreichen Stellen Felsstürze auf die Gletscher niedergehen, ist die Herkunft der Grundmoräne ein ziemlich verwickeltes Problem. Wahrscheinlich stammt das unter dem Gletscher fortbewegte Material aus sehr verschiedenen Quellen. Zunächst sind es gleichsam auf Abwege geratene Teile der Obermoränen, durch Spalten und Gletschermühlen in die Tiefe gestürzte Schuttmassen. Wo ferner zwischen dem Gletscher und seinem Felsufer breite Randspalten klaffen, da kommen die von den Talwänden herabfallenden Steine direkt auf den Gletscherboden oder wenigstens in sehr tiefe Eisschichten zu liegen. Man findet aber mächtige Grundmoränen auch bei Gletschern, die keine Felsumrahmung, daher auch keine Obermoränen besitzen, wie z. B. das grönländische Inlandeis; die sich bewegenden Eisströme müssen also wohl ihren Untergrund selbst angreifen, ihn gleichsam aufpflügen und das gelockerte Material langsam talwärts befördern. Damit sind wir zu der Erkenntnis gelangt, daß die Gletscher tatsächlich erodieren, ein sehr wichtiger Umstand, auf den wir unten zurückkommen.

Sehr verwickelt gestaltet sich die Bewegung aller dieser Schuttmassen, wenn durch Hindernisse im oder am Gletscherbett ungewöhnliche, von der Oberfläche nach der Tiefe oder umgekehrt gerichtete Strömungen im Eise auftreten. Dann können Trümmer der Obermoränen auf den Gletschergrund, also in die Untermoräne und anderseits Bestandteile der Grundmoräne in höhere Schichten des Gletschers gelangen. Letzteres ist von Wichtigkeit für die Erklärung der Innenmoränen, wie man die Geröll- und Schlammlagen nennt, die sich verstreut im Innern der Eisströme finden. In den Alpen kommt dergleichen ziemlich selten vor, dagegen zeigen sich viele grönländische Gletscher in auffallender Weise geschichtet durch Wechsellagerung reiner Eisbänder mit solchen, die von Steinen, Schutt und Schlamm ganz erfüllt sind. Durch die zunehmende Abschmelzung im unteren Gletscherlauf kommen solche Innenmoränen der Oberfläche immer näher und können schließlich ganz ausapern, also zu

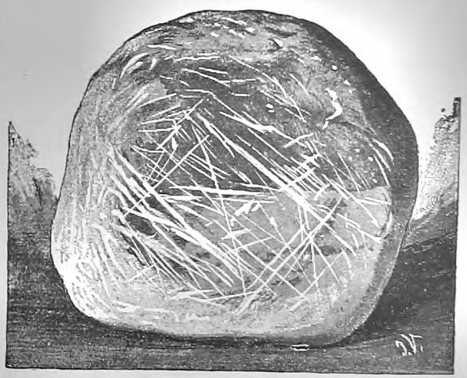


Abb. 242. Gekritztes Grundmoränengeschiebe.
(Nach Toula.)

Obermoränen werden — immer aber verraten sie durch das Vorwalten abgerundeter, geschliffener und geschrammter Trümmer ihre Herkunft und lassen sich dadurch leicht von den echten Obermoränen, die nie im Gletscherinnern waren, unterscheiden. —

Wer nie einen Gletscher gesehen hat, wird Mühe haben, all die zahlreichen ihm vorgeführten Einzelerscheinungen zu einem zusammenhängenden Bilde zu vereinigen, das ihm den richtigen Begriff vom wirklichen Wesen jener Eisströme verschafft. Wie für die meisten geologischen Erscheinungen, so gilt für die Gletscherwelt in besonders hohem Grade der Satz, daß sie auf Grund bloßer Beschreibung nur sehr unvollkommen verstanden werden können.

Dank den modernen Verkehrsmitteln ist ja nun heute eine Reise ins Hochgebirge kein mit Schwierigkeiten oder Gefahren verknüpftes Unternehmen mehr, — Zahnrad- und Drahtseilbahnen, Aufzüge und Gletscherschlitten ermöglichen es selbst dem Bequemsten, eine aussichts-

reiche Warte inmitten der eisumpanzerten Kämme zu gewinnen, wo er in Muße die Gletscherströme zu seinen Füßen betrachten kann. Aber bedeutend wird die Ausbeute an Kenntnissen auch hier nicht sein, die Entfernung ist meistens so groß, daß alle Einzelheiten verloren gehen; wie starre, bewegungslose Gebilde hängen die Gletscher an den Bergwänden oder ruhen, zu untergeordneten Streifen zusammengedrängt, tief im Grunde der Täler. Nur eine Wanderung über den Rücken der Eishalden, der Einblick in ihre Spalten, Mühlen und Schmelzgruben, das Betreten der Moränenwälle und Schuttanhäufungen, vor allem auch eine Untersuchung des unlängst von dem zurückweichenden Gletscher freigegebenen Talbodens kann dem Wißbegierigen die nötigen Aufschlüsse verschaffen.

Abb. 243. Die Mer de Glace bei Chamonix.

Wem aber Zeit und Mittel zu Hochgebirgsreisen fehlen, der kann wenigstens gewisse Gletscherstudien auch in der Heimat, im Mittelgebirge und Flachlande, mit Erfolg betreiben. Wir erinnern uns, daß vor ein paar hunderttausend Jahren (vielleicht auch noch später) weite Gebiete Europas unter riesenhaften Eismassen begraben waren. Auch auf deutschem Boden lassen sich die Ablagerungen der alten diluvialen Gletscher in weiter Verbreitung nachweisen. Mag der Leser an der Nord- oder Ostseeküste, mag er in der Mark oder einem anderen Teil der norddeutschen Tiefebene wohnen, mögen die sächsisch-schlesischen Bergländer, der Thüringer Wald, die Vogesen, der Schwarzwald oder das Alpenvorland seine Heimat sein, überall bietet sich ihm vielfache Gelegenheit, den Spuren der ehemaligen Vergletscherung nachzugehen und die Umgestaltung der Landoberfläche durch das bewegte Eis im einzelnen zu verfolgen. Die wichtigsten Erscheinungen, auf die er dabei zu achten hat, sind im folgenden kurz besprochen.

Wo immer ein Landstrich als Gletscherbett gedient hat, müssen sich die alten, vom Eis transportierten Schuttmassen, wenigstens in Resten, noch vorfinden. Vor allem anderen ist daher die Frage zu beantworten, wie man solche uralten Moränen von den anderen losen Haufwerken, etwa von Flußablagerungen und Gehängeschutt, unterscheiden kann. Die Antwort ergibt sich aus unseren früheren Ausführungen. Moränen bestehen aus kunterbunt aufeinandergehäuften Schuttmassen des verschiedensten Kalibers: feiner Lehm und Sand, grober Kies und Schotter, abgerollte und eckige Steine jeglicher Größe sind zu einem formlosen Teig durcheinandergeknetet, in dem als sehr charakteristische Merkmale einzelne ungefüge Riesenblöcke stecken, gleichsam die Mandeln in dem ungeheuren, von titanischen Naturkräften zusammengebackenen „Pfefferkuchen". Mangel jeglicher Schichtung und äußerst ungleichmäßige Zusammensetzung bilden nebst den zahlreichen abgeschliffenen und gekritzten Geschieben die am meisten hervortretenden Kennzeichen des echten, noch auf ursprünglicher Lagerstätte befindlichen Gletscherschuttes.

Diese Merkmale genügen vollauf, um alte Moränen z. B. von Flußablagerungen zu unterscheiden, die ja stets geschichtet und viel gleichmäßiger zusammengesetzt sind. Wie aber ist es mit den gekritzten und geschrammten Rollsteinen? Die fließenden Gewässer greifen auch die Moränen an und schwemmen deren Material in die Täler hinaus, gekritzte Steine müssen sich daher gelegentlich auch in Flußabsätzen finden. Dies ist jedoch nur in der Nähe von Moränen der Fall; denn die Korrosion des fließenden Wassers schleift und rundet alles mitgeführte Material gleichmäßig ab, und in einiger Entfernung von dem ehemaligen oder jetzigen Gletschergebiet sind die Schrammen und Furchen vollständig abgewaschen, so daß sich die alten Reibsteine der Grundmoräne nicht mehr von gewöhnlichen Flußgeröllen unterscheiden.

Vor eine weit größere Schwierigkeit stellt den Beobachter das gelegentliche Vorkommen von moränenähnlichen Trümmermassen, die tektonischen Kräften ihre Entstehung verdanken. Wenn die Erdkruste irgendwo in Bewegung gerät, so kommt es häufig vor, daß einzelne Schollen unter starkem Druck übereinander hinweggeschoben werden, wobei dann an der Grenze eine oft ziemlich breite Zone zertrümmerten und zerriebenen Gesteinmaterials, eine sogenannte Reibungsbreccie, entsteht. Wie beim Gletscherschutt, sind auch hier in einer feinen lehmigen oder sandigen Masse größere, teils eckige, teils gerundete Gesteinbruchstücke eingeknetet, und um die Täuschung vollkommen zu machen, haben viele Bruchstücke infolge der starken Pressung Schrammen und Eindrücke davongetragen, die sie Moränengeröllen äußerst ähnlich machen (Abb. 244). Die Unterscheidung kann im Einzelfall sehr schwierig sein, und die Geschichte der Geologie weiß von erbitterten Kämpfen um den „glazialen" oder „tektonischen" Charakter mancher Ablagerungen zu berichten.

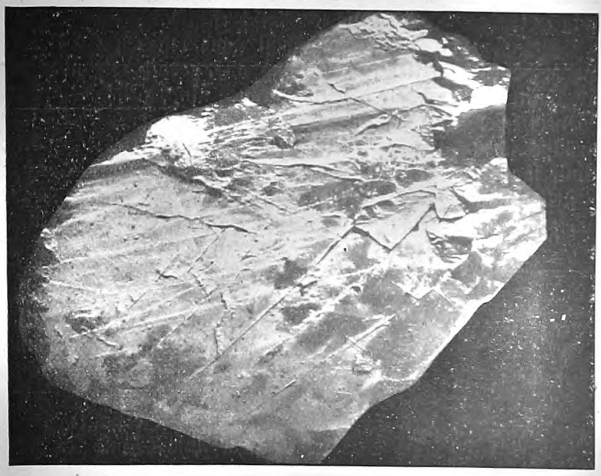


Abb. 244. Durch Gesteinpressung erzeugte Schlifffläche mit Schrammen (Überschiebungsfläche). Von einem Aufschluß am Lauchheimer Tunnel (Schwäb. Jura.)

Als ein Gebiet sehr merkwürdiger, durch vulkanische Kräfte bewirkter Überschiebungen haben wir im zweiten Abschnitt das Ries bei Nördlingen kennen gelernt. Lange Zeit hat man die dortigen, durch gegenseitige Reibung der Gesteinschollen entstandenen Trümmermassen für alten Gletscherschutt gehalten und daraus den Schluß gezogen, daß in der Eiszeit auch die Schwäbische Alb vergletschert gewesen sei, bis neuere Untersuchungen den vulkanischen Ursprung dieser Erscheinungen klarstellten. Auf ähnlichen Funden beruhte die Annahme einer kambrischen Eiszeit Südaustraliens, — auch sie ist kürzlich einer wohlbegründeten Kritik zum Opfer gefallen. Wenn aber einzelne Geologen den Moränencharakter des Blockhelms der permischen Eiszeit in Südafrika, Indien und Australien noch heute in Zweifel ziehen und auch hier nur eine Art Reibungsbreccie vermuten, so dürften sie dabei schwerlich im Rechte sein.

In allen diesen Fällen hat es langwieriger Untersuchungen durch geschulte Fachleute bedurft, um ein annähernd gesichertes Resultat zu erreichen. Dem Naturfreund, der auf deutschem Boden die Spuren ehemaliger Gletscherbedeckung verfolgt, dürften derartig schwierige Probleme kaum begegnen. Schon die äußere

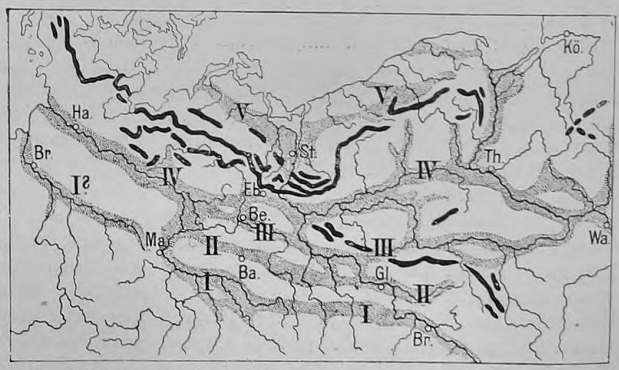


Abb. 245. Die norddeutschen Endmoränenzüge (stark ausgezogen) und Urstromtäler (schattiert) der Diluvialzeit.

Form der alten Moränen ist oft so charakteristisch, daß gar kein Zweifel an ihrer glazialen Entstehung übrigbleibt. Die Endmoränen sind sowohl im Voralpengebiet wie in der norddeutschen Tiefebene häufig als halbkreisförmige

Hügelzüge erhalten, deren Höhe bis zu hundert Meter und mehr ansteigt. Der längste, nur von unbedeutenden Lücken unterbrochene Endmoränenzug, bekannt unter dem Namen Baltischer Höhenrücken, erstreckt sich in einem gewaltigen, über 1200 km langen Bogen von der dänischen Grenze durch Schleswig-Holstein, Mecklenburg, Pommern, West- und Ostpreußen bis nach Rußland (Abb. 245). Der ganze Höhenzug entstammt erst einem späteren Abschnitt der Eiszeit, als das skandinavische Binneneis schon ein gutes Stück gegen Norden zurückgewichen war und nun auf der bezeichneten Linie längere Zeit stillstand. Das Gelände ist stellenweise so uneben, daß es den Namen „bucklige Welt"

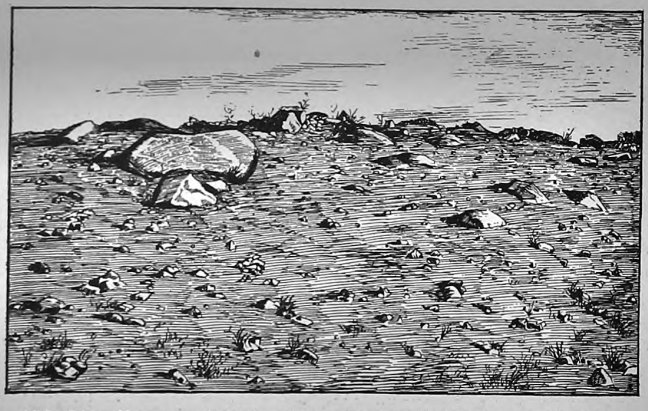


Abb. 246. Kamm der baltischen Endmoräne (hier Rosenberg genannt) zwischen Neuhof und Feldberg in Mecklenburg. (Nach Wahnschaffe.)

erhalten hat; hier herrschen lange Wälle mit zahlreichen Vorsprüngen und Buchten, dort Gruppen kuppenförmiger Hügel, die wie riesige Maulwurfshaufen aussehen. Manche bestehen ganz und gar aus Gletscherschutt (diluvialem Sand, Geschiebelehm, Blockmassen usw.), andere enthalten im Kern ältere, aus der Tertiär- oder Kreidezeit stammende Ablagerungen, die der Druck des vorrückenden Eises zusammengeschoben und emporgepreßt hat und die später von Moränen überschüttet wurden.

Auf seiner Außenseite fällt der baltische Endmoränenzug steil in das südlich gelegene Vorland ab. Dieses Vorland besitzt, wie man sich beim Durchwandern leicht überzeugt, eine ganz andere Beschaffenheit als das hinter dem Höhenrücken, auf dessen Nordseite befindliche Gebiet. Als die nordischen Eismassen ihren Rückzug für einige Zeit unterbrachen und die gewaltigen Stirnmoränenwälle aufschütteten, überschwemmten ihre Abflüsse das südlich gelegene, schon eisfrei gewordene Land. Massen von Sand und Kies wurden unter dem Eisrand hervorgeschwemmt, und jene weiten ebenen Sandheiden, die durch ganz Norddeutschland wie ein Gürtel den Außenrand der Moränenwälle begleiten, sind durchweg Ablagerungen der damaligen Gletscherflüsse.

Eine Landschaft ganz anderen Charakters breitet sich vor uns aus, sobald wir über die Kämme der Endmoränen hinweg nach Norden vordringen. Es ist ein hügeliges, mit einer Unzahl kleiner Seen und Teiche besetztes Gebiet, dessen Untergrund der sogenannte Blocklehm oder Geschiebemergel, die Grundmoräne des diluvialen Inlandeises, bildet. Dieser tonige, stellenweise ziemlich kalkreiche Lehm ist gespickt mit ganz regellos verteilten Geschieben, die zum Teil deutlich geschliffen und geschrammt sind. Alle möglichen Schicht- und Feuergesteine nordischer Herkunft: finnischer Gneis und Granit, norwegischer Porphyr und Syenit, südschwedischer Basalt, Kreide aus den baltischen Provinzen und von der Insel Rügen, silurische Kalksteine und Graptolithenschiefer aus verschiedenen Teilen Skandinaviens lassen sich in Deutschland und seinen Nachbarländern als Material der großen nordischen Grundmoräne erkennen. Dazu hat diese auf deutschem Boden noch mancherlei Neues aufgenommen, z. B. Bruchstücke des Rotliegenden, sächsische Porphyre, Muschelkalk und Juragesteine. Es liegt hierin wieder ein Beweis für die erodierende Tätigkeit der Gletscher und des Inlandeises.

Eine merkwürdige Erscheinung im Gebiet des Geschiebemergels sind die Drumlins: elliptische, schildförmig gewölbte Hügel, deren Längsachse parallel zur Stromrichtung des Eises orientiert ist. Sie bestehen gewöhnlich aus dem gleichen Schutt wie die Grundmoräne und haben sich zweifellos unter dem Eise gebildet; wie aber unter dem alles glatt schleifenden Gletscher so ansehnliche Hügel entstehen konnten, ist noch nicht befriedigend erklärt. In Hinterpommern und der Provinz Posen bilden die Drumlins einen auffällig hervortretenden Zug des glazialen Landschaftsbildes.

Fast alle aus dem norddeutschen Diluvium bekannten Erscheinungen wiederholen sich, wenn auch in etwas kleinerem Maßstab, im Süden unseres Vaterlandes, wo die alpinen Gletscher der Eiszeit die Oberfläche der weiten, den Alpen vorgelagerten Hochebene in sehr gründlicher Weise umgestaltet haben. Um einige Beispiele zu nennen, so bedeckt eine prächtige Moränenlandschaft die ganze Umgebung des vielbesuchten Starnberger Sees im Süden von München. Die malerischen Gruppen kuppenförmiger Hügel, die breiten oder schmalen, zu langen Zügen aneinandergereihten Bergrücken, hier und da als mächtige Wälle über flachem Terrain aufsteigend, sind durchweg aus Gletscherschutt aufgebaut. Zwischen diesen Erhebungen breiten sich kleine und große Torfmoore, sumpfige Wiesengründe und blaue Wasserflächen aus, deren König, der Starnberger See, wie ein breiter, prächtiger Strom aus dem dunklen Kranz der Uferwälder hervorleuchtet.

Obwohl der Moränenboden im allgemeinen fruchtbar und tiefgründig ist, verhindert das sehr unregelmäßig bergige und stark zerschnittene Terrain seine regelrechte Ausnützung als Ackerland. Daher sind die Moränenzüge gewöhnlich bewaldet oder von Bergwiesen bedeckt, die im vollen Schmuck der Alpenblumen ein überaus prächtiges Bild darbieten; doch fehlt es auch nicht an steinigen, trockenen Gehängen, wo nur eine Art Heidevegetation fortkommt.

Wie der Starnberger, so ist auch der benachbarte Ammersee in ziemlich hohe, mit ihm parallel laufende Moränenketten eingesenkt. An die beiden Hauptwasserbecken schließen sich zahlreiche kleine und ganz kleine Seen, die allmählich der Verschilfung und Versumpfung anheimfallen. Nördlich von dem oberbayrischen

Abb. 247. Große Endmoräne der diluvialen Alpengletscher bei Welschingen im Hegau. (Phot. v. d. Trappen.)

Moränengebiet breiten sich bis München und ein gutes Stück darüber hinaus die weiten Kiesflächen des Niederterrassenschotters aus. Es ist dies eine den Sandheiden des norddeutschen Diluviums durchaus entsprechende Bildung, ein Absatz der Schmelzwasser, die während und nach der letzten (vierten) Eiszeit den alten Lech-, Isar- und Inngletschern entströmten. Landschaftlich ist kaum ein größerer Unterschied denkbar als zwischen der anmutigen, durch reichen Formenwechsel dem Auge so dankbaren Moränenlandschaft und dem fast ebenen, wasserarmen, meist von einförmigem Fichten- und Kiefernwald bestandenen Gebiet des Niederterrassenschotters. Nur wo Flüsse in die mächtigen

Kieslagen tiefe Furchen eingeschnitten haben, kommt Abwechslung in das Bild.

Die großartigste dieser Furchen, ein stellenweise canonartiger Einriß mit sehr steilen, felsigen Uferwänden, ist das Isartal südlich der bekannten Großhesseloher Brücke. Der Fluß hat hier noch weit ältere Schichten angeschnitten: Schotter und Nagelfluh (d. i. durch kalkhaltiges Wasser zusammengebackener, „steinartig" gewordener Schotter) der drei älteren Eiszeiten, am Grunde sogar den tertiären Flinz,

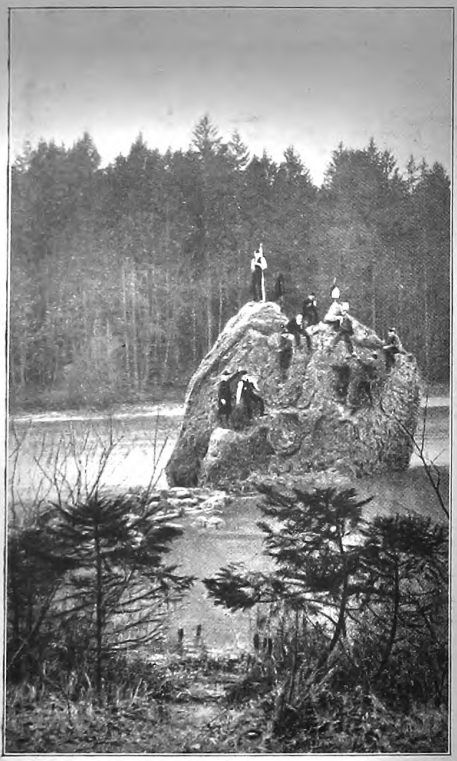


Abb. 248. Der Georgenstein im Isartal bei München.

eine bald sandige, bald tonige oder mergelige Ablagerung mit Resten obermiozäner Säugetiere und Mollusken. Die genaue Erkenntnis der Schichtenlagerung wird sehr erschwert durch die vielen, von den höheren Teilen des Gehänges abgebrochenen und ins Flußbett abgerutschten Nagelfluhmassen, eine Erscheinung, die anderseits der landschaftlichen Schönheit des Tales zugute kommt. Der malerische, rings von der Isar umspülte Georgenstein unterhalb Baierbrunn ist ein solcher, in die Tiefe gestürzter Nagelfluhblock (Abb. 248).

Wo die Endmoränenwälle in konzentrischer Anordnung einen stark bogenförmigen Verlauf nehmen, spricht man von Moränen-Amphitheatern. Diese Bildungen sind namentlich am Rande der Südalpen in außerordentlicher Mächtigkeit entwickelt, so am Südufer des Gardasees, zu dessen Entstehung — durch Abdämmung — sie wesentlich beigetragen haben. Zwischen den einzelnen, parallel laufenden Bogenwällen liegen sumpfige Striche mit Bächen und Wasserlachen. Besonders großartig ist das Amphitheater von Ivrea, das dem alten Gletscher der Dora Baltea seinen Ursprung verdankt. Dieser Eisstrom muß in der Diluvialzeit geradezu ungeheure Schuttmassen aus dem Gebirge in die lombardische Tiefebene hinabgeführt haben. Seine östliche Seitenmoräne, die „Serra", erstreckt sich als ein bis über 600 m hoher schnurgerader Schuttwall 20 km weit in das Flachland hinein. Keine Moräne der Nordalpen oder des norddeutschen Diluviums kann sich, was Höhe und Großartigkeit der Erscheinung betrifft, mit diesem wie aus einem Guß aufgebauten Riesendamm vergleichen. Nicht ganz so gewaltig ist die westliche, in mehrere Teilstücke aufgelöste Seitenmoräne, doch erreicht auch sie die Höhe eines ansehnlichen Mittelgebirges. Ein Gürtel gekrümmter Stirnmoränen bewirkt im Süden den Abschluß des Amphitheaters.

Wie Penck treffend hervorhebt, tritt nirgends im Umkreise der Alpen der Gegensatz zwischen Eiszeit und Gegenwart so auffällig hervor, wie im Bereich der italienischen Moränen-Amphitheater. Nirgends reichten die Gletscher so weit in die Tiefe, mitten hinein in ein Gebiet, das schon unter dem Einfluß des warmen Mittelmeeres stand. Wo damals kolossale Eismassen meilenweit in die Poebene vordrangen, wächst jetzt der Ölbaum und grünt der Lorbeer; Kastanienhaine und Zypressen schmücken die Trümmerwälle der eiszeitlichen Gletscher.

Wenn die Geschiebe der Moränen eine besonders auffällige Größe erreichen, werden sie als erratische (d. h. verirrte) Blöcke oder Findlinge bezeichnet. Diese oft hausgroßen Felsen stecken in der Regel noch mehr oder weniger tief im glazialen Schutt, nur eine Minderzahl ist durch Auswaschung völlig freigelegt und gewährt dem Beschauer den vollen Anblick ihrer wuchtigen Formen. Zweifellos gab es noch vor hundert Jahren in den deutschen Landen weit mehr Findlinge als heute; der immer zunehmende Bedarf an festem Bau-

material hat schuld, daß namentlich in Gegenden, wo anstehendes Gestein fehlt, gar mancher dieser eiszeitlichen Zeugen spurlos von der Erdoberfläche verschwunden ist. In den letzten Jahrzehnten sind Regierungen und wissenschaftliche Vereine bemüht gewesen, die noch existierenden vor der Vernichtung zu retten. Vielen Bewohnern der Reichshauptstadt werden die beiden Markgrafensteine auf den Rauenschen Bergen bei Fürstenwalde bekannt sein (Abb. 249). Sie bestehen aus schiefrigem Granit und sind vom skandinavischen Hochgebirge nach ihrem heutigen Lagerplatz verfrachtet worden. Der kleinere ist etwa $3^3/_4$ m hoch und steckt noch 2 m tief in der Erde, gard in Pommern befinden. Er hat 44 m Umfang und annähernd 600 cbm Rauminhalt. In den westlichen Provinzen sind derartige Blöcke weit seltener, und auch im Alpenvorland ist ihre Zahl schon recht zusammengeschrumpft. Die Moränenlandschaft zwischen dem Starnberger See und dem Isartal enthält noch einige prächtige, bis zu 3 m hohe Exemplare, deren Heimat, nach den Felsarten zu schließen, das mittlere Tirol war, aber im übrigen ist die Schwäbisch-Bayrische Hochebene auffallend arm an diesen Naturdenkmälern. Anders in der Schweiz, deren Gebiet ja den Mittelpunkten der großen Vereisung weit näher liegt. Hier

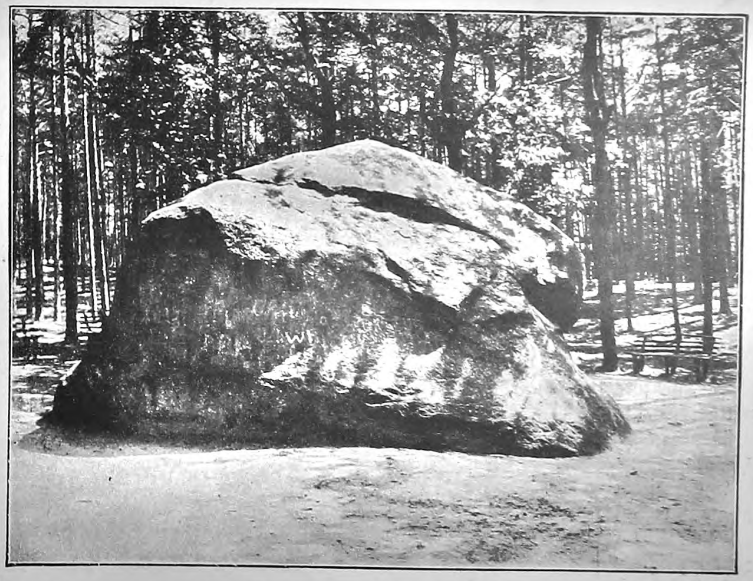


Abb. 249. Kleiner Markgrafenstein auf den Rauenschen Bergen bei Fürstenwalde a. d. Spree. (Nach Wahnschaffe.)

von dem größeren ist nur noch die eine Hälfte erhalten, die andere (im Gewicht von 1600 Zentnern) wurde im Jahre 1827 zur Herstellung der großen Granitschale des Berliner Lustgartens abgesprengt und fortgeschafft.

In den östlichen preußischen Provinzen findet man, namentlich in verkehrsarmen Gegenden, noch einen ziemlichen Reichtum an Riesenblöcken. Viele sind seit alters bekannt und tragen volkstümliche Namen, die zum Teil auf heidnischen Kultus hinweisen. Benennungen wie Opferstein, Altarstein, Gottesstein kehren öfters wieder. Der größte Findling Norddeutschlands soll sich auf dem Kirchhof von Groß-Sydow bei Bel- finden sich erst die wahren Riesenblöcke, denen gegenüber die Findlinge des norddeutschen Diluviums auf ein ganz bescheidenes Maß zusammenschrumpfen. Der als „Pierre des Marmettes" bekannte Granitblock bei Monthey im Rhonetal enthält etwa 2000 cbm und trägt ein Haus auf seinem plateauartigen Gipfel (Abbild. 250). Unmassen erratischen Materials wurden von den Gletschern über die Schweizer Hochebene hinweggetragen und blieben an den Abhängen des Juragebirges (bis 1300 m Meereshöhe) liegen. Dazu gehört unter vielen anderen die Pierre à Bot, ein 13 m hoher und 15 000 Tonnen schwerer Granitblock, der aus der Gegend von

Martigny stammt und ein paar hundert Meter über dem Neuenburger See lagert, also trotz seines enormen Gewichtes etwa 100 km weit vom Eise fortgeschleppt wurde. Der Schweizer Geologe O. Heer hat berechnet, daß diese Reise rund tausend Jahre in Anspruch genommen haben mag.

Abb. 250. Pierre des Marmettes.
Erratischer Granitblock im Unterwallis. Über 2000 m³ Inhalt und über 5000 Tonnen Gewicht; stammt aus dem Montblanc-Stocke.

Bevor die Lehre von der Eiszeit aufkam, galt die Existenz der Findlinge für eine Art Naturwunder, auf das man sich nur schwer einen Vers machen konnte. Was waren das für Kräfte, die solche gewaltige Steinmassen über ganze Länder hinwegschaffen konnten? Die meisten Gelehrten glaubten an kolossale Flutwellen, die das gesamte erratische Material mit sich fortgewälzt und weit von der ursprünglichen Heimat abgelagert haben sollten, doch schreckte man auch vor sehr phantastischen Erklärungen nicht zurück, z. B. daß beim Emporsteigen der Alpen die obersten Kämme und Gipfel in Millionen von Stücken zerbrochen und von der emporpressenden Kraft als ein Regen von Steingeschossen über das ganze umliegende Land geschleudert worden seien, eine Anschauung, die lebhaft an die Sage vom Titanenkampf erinnert.

Später kam die von dem berühmten Geologen Lyell aufgestellte Drifttheorie zur Alleinherrschaft. Lyell nahm wohl eine stärkere Vergletscherung Skandinaviens während der Diluvialzeit an, aber das Inlandeis sollte die Küsten dieses Landes niemals überschritten haben. Der Transport der schwedischen Blockmassen nach Norddeutschland und den Nachbargebieten sei vielmehr auf dem Rücken schwimmender Eisberge geschehen.

Zum besseren Verständnis dieser Theorie möge die Entstehung der Eisberge kurz erläutert werden. Bekanntlich reichen in den arktischen Gegenden, z. B. auf Grönland und Spitzbergen, die Gletscher bis ans Meer hinab, ja sie schieben sich, wofern nur der Strand nicht allzu steil abfällt, eine Strecke weit in die See hinaus. Schließlich aber wird der Auftrieb des Wassers stärker als der Zusammenhalt der Eismasse, das Gletscherende bricht, oft mit donnerartigem Getöse, los und treibt als Eisberg in das offene Meer. Man hat für diesen Vorgang

Abb. 251. Gletscher in der Foulbay im Nordwesten Spitzbergens (79° n. Br.) mit kalbendem Gletscherende und schwimmenden Eisbergen.

den bezeichnenden Ausdruck: der Gletscher „kalbt". Abb. 251 zeigt uns einen spitzbergischen, in einen Fjord eingebetteten Gletscher, der eben im Begriff ist zu „kalben".

Wenn auch bei den polaren Gletschern Ober-

flächenmoränen nur schwach entwickelt sind, enthalten sie doch oft im Innern beträchtliche Schuttmengen, und diese gelangen nach und nach mit den Eisbergen in ferne Meeresteile. Ältere und neuere Seefahrer haben zahlreiche Beispiele dieses Transportes beobachtet, von denen hier (nach J. Walther) einige angeführt seien. Kapitän Bayfield untersuchte in der Bellisleſtraße einen Eisberg, der mit Blöcken, Kies und Sand ganz durchsetzt war. Darwin beobachtete auf seiner Reise um die Welt in einem vorbeitreibenden Eisberg einen 4 m dicken Felsblock. Im August 1827 traf Couthouy über der großen Neufundlandbank einen 20 m hohen und 300 m langen Eisberg, den die Wellen in lebhafte Umdrehung versetzten. In seinen Wänden sah man große Felsblöcke und Erdmassen eingefroren.

Bei der allmählichen Auflösung des Eises im Meerwasser sinkt der mitgeführte Schutt in die Tiefe, so daß erratisches Material in Tiefseeablagerungen etwas ganz Gewöhnliches ist. Da in der Diluvialzeit die Eisberge zweifellos dem Äquator näher kamen als heutzutage, so ist an der Tatsache nichts Auffälliges, daß sich erratische Geschiebe gelegentlich auch außerhalb der gegenwärtigen Treibeisgrenze auf dem Meeresgrunde finden. So dretschte die „Valdivia", das Schiff der deutschen Tiefseeexpedition, auf der Seinebank, die sonst ganz aus kalkigen Ablagerungen besteht, ein offenbar vom Eis angeschliffenes Geschiebe von Granatgneis. Die Seinebank liegt nordöstlich von Madeira, unter 33 Grad nördlicher Breite, also in einem Meeresstrich, den heutzutage kein Eisberg mehr erreicht. Den Granatgneis muß ein diluvialer Eisberg dorthin verschleppt haben. Diese Schlußfolgerung ist jedoch nur in solchen Fällen zulässig, wo die Gerölle deutliche Spuren der Eiswirkung zur Schau tragen; andernfalls können sie auch durch Treibholz, in dessen Wurzelballen sie festsaßen, so weit verschleppt worden sein.

Um wieder auf die Drifttheorie zurückzukommen, so stand und fiel diese mit der Annahme, daß in der Eiszeit die ganze Norddeutsche Tiefebene samt Dänemark, Holland, Polen usw. vom Meere bedeckt war. (Dies ist schon aus dem Grunde höchst unwahrscheinlich, weil Versteinerungen von Meerestieren im Diluvium jener Gebiete nur ganz ausnahmsweise vorkommen.) Auf dem „mitteleuropäischen Eismeer" habe in der wärmeren Jahreszeit eine lebhafte Eisdrift nach Süden hin stattgefunden, und der den schmelzenden Eisbergen entfallende Schutt habe den Stoff zur Bildung der diluvialen Blocklehme, Sande und Schotter geliefert.

Es bedurfte ungemein weitläufiger Untersuchungen und endloser Diskussionen, bis die mit dogmatischer Zähigkeit 30 Jahre lang aufrechterhaltene Drifttheorie vor der besser begründeten Glazialtheorie endgültig das Feld räumte. Wenn die heutigen Geologen (soviel mir bekannt, ausnahmslos) eine ungeheure zusammenhängende Binneneisdecke annehmen, die auf dem Höhepunkt der Eiszeit vom Nordkap bis an den Harz, die Sudeten und Karpathen, von Südengland bis zum Ural und darüber hinaus nach Asien reichte, so können sie sich dabei auf folgende Tatsachen berufen. Erstens zeigen die vorherrschenden Ablagerungen des gesamten Gebietes einen sehr einheitlichen Charakter: es sind echte Grund- und Randmoränen. Eine solche Einheitlichkeit wäre natürlich unmöglich, wenn sich z. B. das Diluvium Skandinaviens auf festem Lande, durch Aufschüttung der Gletscher, der norddeutsche Geschiebemergel aber auf dem Grunde eines Eismeeres gebildet hätte. Ebenso können die langen, das deutsche und russische Flachland durchquerenden Endmoränenzüge nur auf dem Festland, an der Kante eines weit ausgedehnten Inlandeises, entstanden sein.

Zweitens: überall wo der Blocklehm, die große Grundmoräne, über älteres anstehendes Gestein hinweggegangen ist, finden wir sie dahinter mit Trümmern dieser Felsarten gespickt. Hat sie z. B. Kreidefelsen passiert, so enthält sie massenhaft Kreide- und Feuersteingerölle; hinter Kalkfelsen ist sie kalkreich, hinter Gipsfelsen gipsreich usw. Hier kann unmöglich ein Transport durch Eisberge vorliegen, es war das wandernde Landeis selbst, das seinen Untergrund erodierte und die abgerissenen Trümmer mit sich fortschleppte.

Drittens zeigt hier und da im Bereich des nordischen Diluviums die Felsoberfläche selbst gewisse Veränderungen, die, wie man in den Gletschergebieten der Gegenwart beobachten kann, auf unmittelbare Einwirkung des gleitenden Eises zurückgehen. Es sind die sogenannten Rundhöcker, die Gletscherschliffe und -schrammen auf anstehendem Gestein, Erscheinungen, die zu den sichersten Kennzeichen ehemaliger Gletscherbedeckung gehören und bei massenhaftem Auftreten der Landschaft ein ganz eigentümliches Gepräge verleihen. Wie wir sahen, werden die Steine der Grundmoräne durch das beständige Schieben auf dem harten Felsbett und durch gegenseitige Reibung

allmählich abgerundet und von dem feinen zwischen ihnen befindlichen Sand glattgescheuert und poliert. Dasselbe geschieht nun auch mit dem Felsuntergrund des Gletschers: kleine Vorsprünge und Rauhigkeiten werden vollständig abgeschliffen, größere zu Rundhöckern umgestaltet. So schafft sich der fließende Eisstrom eine verhältnismäßig glatte Bahn, in der er beim Fortgleiten nur geringen Widerstand findet.

Wie ferner die Geschiebe der Grundmoräne sich gegenseitig ritzen und schrammen, so graben sie auch in den Felsgrund zahllose Furchen und Linien ein, die einander annähernd parallel laufen und die Richtung der Eisbewegung angeben (vgl. Abb. 254). In den Gebirgstälern folgen diese Schrammen im allgemeinen der Talrichtung, in Norddeutschland sind sie bislang nur an wenigen Stellen aufgefunden worden, da hier die mächtigen diluvialen Schuttdecken im Verein mit jüngeren Ablagerungen fast überall den alten Gletscherboden verhüllen. Immerhin läßt sich aus den bisher vorliegenden Beobachtungen der Schluß ziehen, daß die Bewegungsrichtung des Inlandeises im allgemeinen nordsüdlich verlief, aber an mancher Örtlichkeit im Verlauf der Eiszeit erheblich von dieser Grundrichtung abwich.

Je älter frei an der Oberfläche liegende Gletscherschliffe sind, desto stärker haben sie unter den zerstörenden Einflüssen der Verwitterung gelitten; die prächtig glänzende Politur, die feine Streifung ist in der Regel gänzlich verschwunden, und nur grobe Furchen, tiefgehende Schrammen sind übriggeblieben. Zweifellos sind auf diese Weise zahlreiche, von den diluvialen Gletschern herrührende Schliffe zerstört oder wenigstens ganz unansehnlich geworden, nur auf besonders harten, schwer verwitternden Gesteinen (z. B. Quarzfelsen) konnten sie der Verwitterung Trotz bieten. Dagegen ist unter der schützenden Decke von Moränen ihre Haltbarkeit fast unbeschränkt. Bei der Anlage von Steinbrüchen, beim Bau von Landstraßen und Eisenbahnen sind häufig unter dem abgeräumten Schutt prächtige Schliffflächen zutage getreten. Von hervorragender Bedeutung für die Entwickelung der Glazialgeologie war die Entdeckung abgehobelter und geschrammter Felsoberflächen in den bekannten Muschelkalkbrüchen von Rüdersdorf bei Berlin (Abb. 252). Angesichts eines so unzweideutigen Zeugnisses ehemaliger Gletscherbedeckung mußten selbst die eifrigsten Vertreter der Drifttheorie zugeben, daß diese gänzlich ungeeignet sei, die Eigentümlichkeiten des norddeutschen Glazialdiluviums befriedigend zu erklären.

Abb. 252. Geschliffene und geschrammte Felsoberfläche des Muschelkalks im Alvenslebenbruch bei Rüdersdorf. (Nach Wahnschaffe.)

Mit viel älteren Gletscherschliffen hat uns

die geologische Erforschung des Kaplandes bekannt gemacht. Der Leser erinnert sich, daß Britisch-Südafrika eins der Gebiete ist, wo die permische Eiszeit mit aller Sicherheit nachgewiesen werden konnte. Die Rolle der Grundmoräne spielt hier das sogenannte Dwyka-Konglomerat, eine stellenweise mehr als 300 m mächtige Ablagerung, die in allen wesentlichen Merkmalen (bunte Zusammensetzung, Mangel der Schichtung, reichlicher Gehalt an geglätteten und gekritzten Felsstücken) dem Blocklehm des norddeutschen Diluviums gleicht, nur daß im Lauf der Jahrmillionen die ganze Masse eine harte, steinartige Beschaffenheit angenommen hat. Dieser uralte Gletscherschutt ruht nun überall, wo man seinen Untergrund beobachten konnte, auf stark abgeschliffenen und geschrammten Felsen (zumeist devonischen Schichtgesteinen). Die gleichen Beobachtungen hat man im Innern der vorderindischen Halbinsel gemacht, wo der dem Dwyka entsprechende Blocklehm die Bezeichnung Talchir-Konglomerat führt und ebenfalls auf geschrammtem Felsboden abgelagert ist. Das sind also Gletscherspuren, deren Alter nach der bescheidensten Schätzung ein Dutzend Jahrmillionen zählen mag.

Als eine besondere Art der Gletscherschliffe kann man die Rundhöcker auffassen. Wenn der vorrückende Eisstrom auf seiner Bahn eine felsige Erhöhung trifft, so kriecht er gleichsam daran hinauf, um auf der anderen Seite in einem Gletscherfall jäh hinabzustürzen. Die Folge davon ist, daß die erodierende und glättende Tätigkeit des Gletschers sich nur auf der vorderen, auf der „Stoßseite" des Felsbuckels bemerkbar macht; diese wird abgeschliffen, geschrammt und in eine sanft ansteigende Böschung umgewandelt, während die hintere oder „Leeseite" ihre rauhe Oberfläche und den steilen Abfall beibehält. Man kann sonach aus der Gestalt und Lage der Rundhöcker auf die Bewegungsrichtung der längst verschwundenen Eisströme schließen.

Abb. 253. Rundhöcker bei Cavaglia an der Berninaroute.

In verlassenen Gletschergebieten liegt oft eine größere Zahl Rundbuckel neben- und hintereinander; sie bilden in ihrer Gesamtheit die charakteristische Rundhöckerlandschaft, von deren Eigenart Abb. 253 eine Vorstellung

geben mag. In der französischen Schweiz führen diese Gebilde den seltsamen Namen „Roches moutonnées“, weil eine Gruppe von ihnen, aus der Ferne gesehen, sich bei einiger Phantasie wie eine Herde ruhender Schafe ausnimmt. Zwischen den einzelnen Buckeln liegen oft flache, von angestautem Eise ausgeschaufelte Wannen, in denen sich gern, wie zwischen den Moränen, kleine Wasseransammlungen bilden. Während es in den Alpen kaum ein Tal ohne Rundhöcker gibt, treten sie im Flachland, ebenso wie die tiefe kesselförmige Löcher, die als Riesentöpfe im Volke bekannt sind. Ihre Eigenart tritt erst hervor, wenn der Schutt entfernt wird, der sie meistens bis zum Rande ausfüllt. Dann sieht man, daß ihre Wände von innen glattgescheuert und spiralig gedreht sind, als habe jemand mit einem Riesenbohrer das harte Gestein bis zu mehreren Metern Tiefe ausgehöhlt. Nach der Kraft, die eine so gewaltige Bohrarbeit vollbrachte, und nach ihren Werkzeugen brauchen wir nicht lange zu suchen: am

Abb. 254. Geschliffene Felsoberfläche im Luzerner Gletschergarten mit lose daraufliegenden Geschieben der Grundmoräne. Im Vordergrund rechts ein erst wenig ausgehöhlter Gletschertopf.

Gletscherschliffe, nur ausnahmsweise unter der Schuttdecke hervor. Die schönste norddeutsche Rundhöckerlandschaft befindet sich in der Nähe der sächsischen Stadt Kamenz, in der sogenannten Spittelforst. Hier liegen teils frei, teils vom Walde verdeckt, mehrere prächtige Granitbuckel, an denen man Stoß- und Leeseite deutlich unterscheiden kann. Leider ist hier, wie auch an anderen Orten, ein Teil dieser ungemein wertvollen Naturdenkmäler dem fortschreitenden Steinbruchbetrieb zum Opfer gefallen.

Eingesenkt in die abgehobelte Felsoberfläche alter Gletscherböden zeigen sich hie und da Grunde der Riesenkessel stecken mitten im Kies oder Lehm mächtige Blöcke, deren abgerundete, geglättete Oberfläche beweist, daß sie das Spielzeug heftiger Wasserbewegung gewesen sind. Die Mechanik des Vorganges läßt sich heute vielfach am Fuß von Wasserfällen oder am Boden von Stromschnellen beobachten. Strudelndes Wasser versetzt Steine und Sand in schnelle kreisende Bewegung und bohrt mit ihrer Hilfe kesselförmige Vertiefungen in das felsige Flußbett. Daß sich derartige Wirbel auch am Gletschergrunde bilden können, braucht kaum besonders betont zu werden: bieten doch die Gletschermühlen mit ihren oft 50 und mehr Meter senkrecht

hinabstürzenden Wassermassen vortreffliche Gelegenheit dazu, und auch die von den Talwänden kommenden, in die Randspalten des Eises sich ergießenden Wildbäche mögen dort, wo sie auf den Grund treffen, tiefe Strudellöcher erzeugen.

Eine auf kleinem Raume selten vollständige Vereinigung von Denkmälern der Gletscherzeit ist in dem berühmten Luzerner Gletschergarten zu finden (Abb. 254). Jedem Naturfreund, der die Schweiz bereist, sei der Besuch des merkwürdigen Fleckchens Erde dringend empfohlen; er wird dort in einer halben Stunde mehr lernen, als ihm tagelanges Bücherstudium zu bieten vermag. Den Untergrund bildet tertiärer Sandstein (sogenannter Molassesandstein), dessen Oberfläche in hervorragend schöner Weise abgeschliffen und geschrammt ist. Bis zum Jahr 1872 ruhten die Schliffe unter einer mehrere Fuß dicken Schicht von Ackererde und Moränenschutt, daher ihre vorzügliche Erhaltung. Als zufällig beim Graben eines Kellers einige prächtige Riesentöpfe zum Vorschein kamen, entschloß man sich, das ganze Terrain systematisch aufgraben zu lassen und jedem, der sich für die merkwürdigen Erscheinungen interessiert, zugänglich zu machen.

Im ganzen wurden nicht weniger als 32 Gletschertöpfe aufgedeckt, darunter einige von kolossalen Dimensionen, aber auch solche, die ganz im Anfang ihrer Bildung stehengeblieben sind. Der größte Kessel hat 8 m Durchmesser und $9^1/_2$ m Tiefe und ist auf seinem Grunde in mehrere kleine Strudellöcher geteilt, die zuletzt entstanden sind und noch Felsrippen zwischen sich übriggelassen haben. Während der feinere Schutt durchweg ausgeräumt wurde, hat man die schleifenden Mahlsteine wenigstens zum Teil in den Löchern gelassen. Sie bestehen aus ganz anderem Gestein als die Felsunterlage, aus Gotthardgranit oder sonstigen, im oberen Reußgebiet anstehenden Felsarten. Der mächtigste aus der Tiefe des größten Kessels zutage geförderte Schleifstein wiegt 110 Zentner. Zerstreut auf der abgehobelten Felsoberfläche liegen zahlreiche, aus den Moränen an Ort und Stelle ausgegrabene, erratische Blöcke. Sie entstammen sämtlich den Hochalpen und sind auf dem Rücken oder in der Grundmoräne des ehemaligen Reußgletschers über den vom Eis ausgefüllten Vierwaldstätter See hierher gewandert.

Um dem Besucher die Entstehung der Riesenkessel gleichsam praktisch vor Augen zu führen, enthält der Luzerner Gletschergarten eine künstliche, mechanisch arbeitende Gletschermühle. Man betritt eine nachgeahmte Eisgrotte, in deren Hintergrund das Schmelzwasser von oben durch eine Spalte herabstürzt. Der Strom ergießt sich in einen Felsentopf, wo er einen mächtigen Mahlstein in kreisende Bewegung versetzt. Die magische Beleuchtung, dem blaugrünen

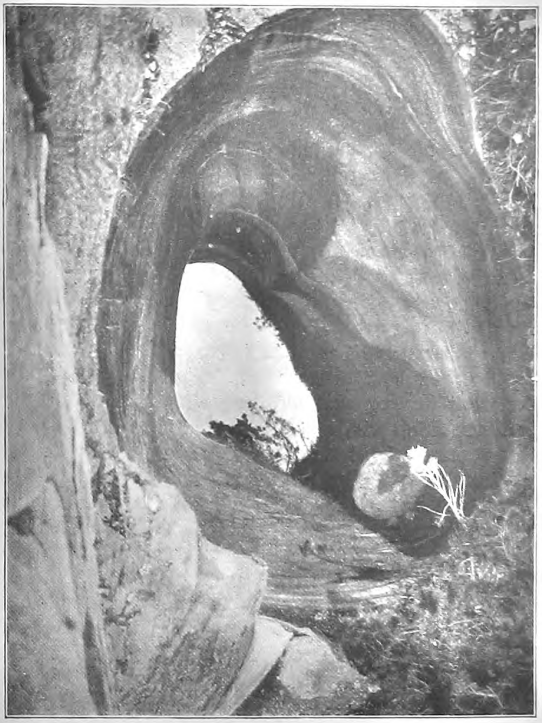


Abb. 255. Riesenkessel (sogenannte Gletschermühle) auf Maloja.

Dämmerlicht der natürlichen Eishöhlen täuschend nachgebildet, trägt zur Erhöhung der Illusion bei. Auch ein vortreffliches, von dem Züricher Professor Heim ausgearbeitetes Gletschermodell, an dem sich alle Erscheinungen der Eisströme im kleinen studieren lassen, ist im Museum des Gletschergartens aufgestellt.

Riesentöpfe glazialer Entstehung sind auch aus anderen Teilen der Alpen bekannt, z. B. von Maloja im Engadin, wo die Schmelzwasser des Fornogletschers einige besonders prächtige Kessel im harten Granit ausgemeißelt haben (vgl. Abb. 255). Ebenso kommen sie im norddeutschen Diluvium hier und da vor. Im

Rüdersdorfer Kalkbruch, dessen Bedeutung für die Eiszeitkunde wir oben gewürdigt haben, konnte man vor Jahren einige schöne Exemplare bewundern, — leider sind sie jetzt weggesprengt bis auf einen, der sorgfältig herausgenommen und im Museum der geologischen Landesanstalt in Berlin aufgestellt worden ist. Neuerdings will man Gletschertöpfe auch auf dem Plateau des Iberg's bei Grund im Harz entdeckt haben. Dort finden sich trichterförmige Vertiefungen, die man früher für Pingen, d. h. alte eingestürzte Bergwerke hielt. Der Iberg ist ein von natürlichen Höhlen und alten Bergwerkstollen ganz durchlöcherter Kalkberg, an dessen Oberfläche Einstürze häufig genug vorgekommen sein mögen. Ein Teil der Löcher aber gleicht, wie die Ausgrabungen gezeigt haben, den Luzerner Gletschertöpfen und ist offenbar von strudelndem Wasser ausgebohrt worden. Ob diese Kessel unter der diluvialen Inlandeisdecke entstanden oder weit älteren Datums sind — man kennt beispielsweise in Schlesien Strudeltöpfe aus der Steinkohlenzeit — ist einstweilen noch nicht mit Sicherheit zu entscheiden.

Viertes Kapitel. Die Erosion der Gletscher (Exaration).

Mag die Ausbohrung der Riesentöpfe am Grunde eines Gletschers, mag sie im felsigen Bett eines reißenden Flusses vor sich gehen, auf jeden Fall ist sie das Werk fallenden, wirbelnden Wassers, gehört also zu den Erosionswirkungen dieses Elementes und nicht zu denen des Gletschereises. Auch Rundhöcker und Gletscherschliffe werden, streng genommen, nicht vom Eise, sondern von der Grundmoräne abgeschliffen; da aber hier die Bewegung des mit der Moräne eng verwachsenen Gletschers als treibende Kraft wirksam ist, darf man mit gutem Recht von Glazialerosion sprechen. Abgesehen davon besitzt der Gletscher, wie wir früher sahen, die Fähigkeit, seinen Untergrund aufzuwühlen und das gelockerte Material der Grundmoräne einzuverleiben. Diese Tätigkeit läßt sich passend mit der Arbeit eines Pfluges vergleichen, der Furchen in den Boden zieht, ihn lockert und weiterschiebt; daher der neuerdings an Stelle von „Glazialerosion" in die Wissenschaft eingeführte Kunstausdruck Exaration, d. h. „Auspflügung". Die Frage ist nur, ob es denkbar ist, daß das weiche Gletschereis solche Arbeit im harten Felsboden leistet.

Beim Abschleifen des Gletscherbodens durch die Grundmoräne können wohl an besonders unebenen Stellen vorspringende Felsstücke herausbrechen und in Trümmer zerfallen, aber das wird im allgemeinen doch recht selten vorkommen. Von größerer Wichtigkeit ist zweifellos der gewaltige Druck, den die mächtige Eismasse auf ihre Unterlage ausübt; man kann sich vorstellen, daß er im Felsboden zahlreiche Sprünge und feine Risse hervorbringt, ja an schwachen Stellen das Gefüge vollkommen lockert, wonach das Ausbrechen der Trümmer vorbereitet wird. Die Hauptarbeit aber fällt, ähnlich wie bei der Talbildung (S. 223), der Verwitterung, und zwar vor allem dem Spaltenfrost, zu. Am Gletschergrund schwankt die Temperatur, wie man beobachtet hat, in engen Grenzen um den Nullpunkt. Da auch der Druck schwankt, also der Gefrierpunkt des Wassers bald sinkt, bald steigt, kommt es zu einem häufigen Tauen des Eises und Wiedergefrieren des Schmelzwassers. Letzteres dringt in die Risse und Haarspalten des Gesteins ein und sprengt beim wiederholten Gefrieren die schon gelockerte Masse völlig entzwei. So wird die obere Lage des Felsbodens allmählich in Schutt verwandelt, den die Grundmoräne aufnimmt und fortführt. Als eigentliche Ursache der Glazialerosion hat demnach die vom Gletscher ausgehende Kältewirkung zu gelten, während der vom Druck unterstützten Schiebkraft des Gletschers nur die Rolle eines Besens zukommt, der die entstandenen Schuttmassen hinauskehrt.

Durch diese Vorgänge muß sich die Sohle eines Gletschertals im Lauf langer Zeiträume erheblich vertiefen. Auch an Breite wird das Tal gewinnen, weil die Exaration ebenso an den seitlichen Abhängen tätig ist. Die meisten Hochtäler der Alpen zeigen sehr deutlich gewisse Veränderungen ihres Reliefs, die sie während der Eiszeit erlitten haben, als die Gletscher Hunderte von Metern höher standen als heutzutage. Bis zur oberen eiszeitlichen Gletschergrenze herauf sind die Wände abgeschliffen, gerundet, im allgemeinen von sanften Formen und nicht allzu steil, darüber erheben sich schroff, zackig und oft ganz senkrecht die höchsten, niemals vom Eis bedeckten Bergkämme. So auffällig macht sich der Unterschied der Formen geltend, daß Unkundige leicht auf den Gedanken kommen, die zackigen Felsen hoch oben beständen aus ganz anderem Gestein als die unteren abgerundeten Gehänge. Aber die Fels-

art spielt hier gar keine Rolle; ganz unabhängig vom Schichtenwechsel und inneren Bau des Gebirges, verläuft die Grenze in annähernd gerader Linie talauswärts.

Das auf der beigegebenen Tafel dargestellte Panorama der Montblanckette veranschaulicht diese Verhältnisse in sehr klarer Weise. Vom Mont Brévent, einem Gipfel des Gneismassivs der Aiguilles Rouges, blicken wir über das Chamonixtal hinweg (Chamonix selbst ist von unserem Standort aus unsichtbar) auf den zackigen Granitkamm des Zentralstocks. Eine seltsam geformte „Aiguille" reiht sich an die andere, dazwischen liegen Firnfelder, getrennt durch scharfe, bis zum Fuß der Granitschroffen herabreichende Felsrippen. Den Firnmulden entquellen Gletscher, von denen eine bedeutende Zahl auf unserem Bilde sichtbar ist; manche besitzen nur geringe Länge und endigen noch mitten in der Felswüste, andere reichen in schluchtenartigen Einrissen tief hinab und dringen kilometerweit in die Waldregion ein wie der bekannte Glacier des Bossons (auf dem Panorama der zweite von rechts), der sich zu Zeiten eines Hochstandes beinahe bis ins Haupttal vorschiebt. Über der ganzen wunderbaren Fels- und Gletscherwelt erhebt sich in schneeiger Weiße die firnbedeckte Kuppel des höchsten aller Alpenberge, des Montblanc.

In der Eiszeit war das Chamonixtal bis zum Fuß des zackigen Granitkamms vom Eis ausgefüllt; deutlich heben sich die rauhen, vom Eis unberührten Schroffen ab von den abgeschliffenen Gehängen des tieferen Stockwerks. Allerdings bestehen diese tieferen Gehänge aus anderem Gestein als die Aiguilles, nämlich aus umgewandelten, von Eruptivmaterial durchtränkten Schiefern, aber die Grenze der beiden Gesteinarten verläuft nicht dort, wo die zackigen Felsformen, die scharfen Rippen und Grate beginnen, sondern etwas tiefer; die unterste Lage des Granits ist noch mit abgeschliffen.

Steigen wir in Gedanken von den höchsten Zinnen des eisgepanzerten Kammes abwärts, so treffen wir am Fuß der Granitschroffen eine sanft abfallende, stellenweise fast ebene Terrasse, auf der mehrere Berggasthäuser günstige Standplätze gefunden haben. Diese sanfte Böschung stammt noch aus der Zeit vor der großen Vergletscherung, sie ist ein Rest des alten, in der Tertiärzeit entstandenen „Verwitterungstales". Später hat dann das Eis die Gehänge abgehobelt, ohne die ursprünglichen Böschungsverhältnisse zu ändern, — wenigstens hier oben nicht. Erst an den tieferen Gehängen, im Bereich der Grundmoräne, kam die starke Erosionskraft der Gletscher zur Geltung. Wir sehen, wie der schwach geneigte Hang plötzlich abbricht und in schroffem Sturz zur Talsohle niedersinkt. An der entgegengesetzten, auf unserem Bild nicht sichtbaren Talflanke zeigt sich genau die gleiche Erscheinung. In das breite, voreiszeitliche Verwitterungstal ist also ein engeres Tal mit steilen Wänden eingesenkt, dessen Gestalt einem Troge gleicht. Diesen trogförmigen Einschnitt haben die Gletscher der Eiszeit ausgepflügt.

Abb. 256. Die vom Eis polierten Wände des Juchlistocks im Berner Oberland.

In der Gegenwart ist das Tal bis zu einer gewissen Höhe zugeschüttet; Gehängeschutt und Ablagerungen der Gletscherbäche füllen den Grund des Troges aus. Die Trogwände sind also zum Teil verdeckt und erscheinen minder hoch, als der Wirklichkeit entspricht.

Auf die allgemeine Verbreitung der Trogtäler in den Alpen komme ich weiter unten zurück.

Fast jede auf den Zentralalpen erbaute Schutzhütte ist ein günstiger Standort zum Studium der eiszeitlichen Gletscherwirkungen; überall zeigt sich eine weitgehende Umformung des Reliefs durch das scheuernde und grabende Eis.

Besonders großartig treten die alten eiszeitlichen Gletscherbetten in den Ötztaler und Stubaier Alpen hervor; das Ramolhaus, die Breslauer, Nürnberger und Bremer Hütte mögen als vorzügliche Beobachtungspunkte Erwähnung finden. Die obere Schliffgrenze ist häufig in Form einer Terrasse oder eines ziemlich ebenen Bordes ausgebildet, den unsere Alpenvereine gern zum Standort ihrer Unterkunftshütten wählen. Die sanft ansteigende Fläche schließt gewöhnlich mit einer Art Hohlkehle ab, über die die steilen, vom Eis unberührten Wände aufragen. Wo der sogenannte Schliffbord fehlt, pflegt eine kleine Kerbe oder seltener eine ausspringende Kante den einstigen höchsten Stand des Gletschers anzudeuten.

Zu den wildesten und einsamsten Gegenden des Hochgebirges gehören die Kare oder Zirkustäler: ungeheure, wie Nischen in das Gehänge eingemeißelte, von steilen oder gar senkrechten Wänden umrahmte Felsamphitheater (vgl. Abb. 257). Sie bilden das oberste Ende vieler Hochgebirgstäler; namentlich für das Karwendelgebirge, das nach ihnen seinen Namen hat, sind karförmige Talschlüsse charakteristisch. Die halbkreis- bis hufeisenförmig gekrümmten Wände umschließen den breiten Karboden, der in der Regel durch eine hohe, steile Felsstufe von der Sohle des Tales, in das er mündet, getrennt ist. Die Beschaffenheit des Karbodens wechselt, bald ist er ziemlich eben, bald steigt er nach dem Hintergrund zu erheblich an, häufig enthält er auch in der Mitte eine flache, von einem See erfüllte Einsenkung (Wanne). Der Grund ist oft von Moränenschutt und Bergsturzmassen überlagert; wo diese fehlen, erkennt man den alten Gletscherboden, Rundhöcker und abgeschliffene Felspartien.

Die Szenerie vieler Kare hat etwas eigenartig Majestätisches. Kaum irgendwo im Hochgebirge steht der Mensch so unter dem Eindruck völliger Weltabgeschiedenheit wie inmitten der trotzig zum Himmel aufragenden Karwände. Die trostlose Öde ringsum, die Kahlheit der Felsen, der wilde, mit Trümmern besäte Grund verstärken das Gefühl des Unheimlichen, Gefahrdrohenden, das namentlich den einsamen Wanderer in jenen Felseinöden leicht überkommt.

Über die Entstehung der Kare ist viel gestritten worden. Ältere Geologen hielten sie für Einsturzkessel nach Art der Erdfälle oder gar für Krater, obwohl den meisten jede Spur vulkanischer Ablagerungen fehlt. Später machte man die atmosphärische Verwitterung, den Spaltenfrost sowie die ausnagende Tätigkeit des Regens und schmelzenden Schnees für ihre Entstehung verantwortlich, wobei unerklärt blieb, warum die Verwitterung nur in bestimmten Regionen des Gebirges solche gewaltige Hohlräume herausarbeitete. In ein anderes Stadium trat die Frage, seitdem man erkannte, daß die Kare in einer ganz bestimmten Beziehung zur eiszeitlichen Vergletscherung stehen. Sie fehlen nämlich, wie Penck feststellte, überall, wo die Gebirgsoberfläche in der Eiszeit von einer zusammenhängenden Eis- und Firndecke überzogen war, und haben sich nur an Gehängen entwickelt, deren höchste Kämme damals als Felsinseln über den Firn emporragten. Danach scheinen die Kare an den Wurzeln kleiner Gehängegletscher entstanden zu sein, dort, wo deren Firnmulde scharf vom höhergelegenen aperen Fels absetzte. Oberhalb dieser Grenze konnte die Glazialerosion natürlich nicht wirksam sein, wohl aber untergrub sie das Gehänge von der Tiefe aus, so daß sich rings um die Firnmulde ein annähernd halbkreisförmiger Steilabsturz herausbildete.

Als später das Klima wärmer wurde und die Mehrzahl jener kleinen Gletscher vollständig wegschmolz, blieben zahlreiche Nischen zurück, an deren Wänden nunmehr die Zerstörungsarbeit der atmosphärischen Verwitterung einsetzte. Viele Kare sind unzweifelhaft durch spätere Rutschungen und Bergstürze beträchtlich erweitert worden, und auch die Erosion des fließenden Wassers hat nachträglich manches an ihnen umgestaltet.

Wo die Wurzeln der Gletscher zu hoch liegen, als daß über ihnen noch firnfreie Abhänge möglich wären, was im allgemeinen für die Schweizer Zentralalpen zutrifft, kann es nicht zur Karbildung kommen. Viele der höchsten Schweizer Eisriesen (z. B. Matterhorn, Weißhorn, Dent Blanche) entbehren überhaupt der Firnmulden; ihre steilen, ungegliederten Flanken sind bis zum Gipfel mit einem Mantel von Firn und Eis bekleidet. Diese Eigentümlichkeit scheint im Gebirgsbau begründet zu sein. Während demnach in den Schweizer Zentralalpen Zirkustäler zu den Seltenheiten gehören, reiht sich in den Ketten der Ostalpen häufig ein Kar ans andere. Viele hochgelegene sind noch von kleinen Gletschern erfüllt, die Mehrzahl aber liegt eisfrei da. Nur ausnahmsweise erscheinen auch in den Ostalpen die spitzen eisgepanzerten Kegel nach Art des Matterhorns (am häufigsten noch in der Großglocknergruppe, wo das Wiesbachhorn am bekanntesten ist), und

hier sucht man dann vergeblich nach den sonst so häufigen Karen. Umgekehrt gibt es auch in den Schweizer Zentralalpen ein Ausnahmegebiet, wo sich Zirkustäler in bedeutender Menge finden, das ist der St. Gotthard.

Berühmt durch die Schönheit ihrer Zirkustäler sind die Pyrenäen. Auch dieses Gebirge war zur Eiszeit stark vergletschert und bot offenbar der Karbildung besonders günstige Bedingungen dar. Der Cirque de Gavarnie (Abb. 257) ist nach dem übereinstimmenden Urteil aller Besucher eins der großartigsten alpinen Schaustücke der Erde. Über ihn schreibt der bekannte

Abb. 257. Der Zirkus von Gavarnie in den Pyrenäen.

Alpinist Dr. H. Bertram: „Nicht mit Worten ist wiederzugeben der wahrhaft feierliche Eindruck, den das kolossale Bauwerk der Natur auf den Besucher macht, mit der umgebenden Kesselrundung seiner himmelhohen starren Mauern, mit den blendenden Gletschern, die seine Zinnen krönen, mit dem ewigen Schnee, der die horizontalen Stufen abwärts wie ein Teppich bedeckt. Man denke sich die Sellagruppe gegen Wolkenstein durch eine Riesenfaust zur Hufeisenform zusammengebogen, das große Band um das Fünffache verbreitert und mit 50 m dickem Eise gepanzert, von dessen blauem Rande die Fahnen von 14 starken Wasserfällen herabhängen; dann hat man das Bild des Zirkus von Gavarnie."

Wenn die Kare Werke der eiszeitlichen Glazialerosion sind, so ist zu erwarten, daß sie auch den deutschen Mittelgebirgen nicht fehlen, wenigstens soweit diese in der Eiszeit selbständige Gletscher hervorgebracht haben. An der Nordseite des Riesengebirges, unterhalb des aussichtsreichen Hohen Rades, liegen die Große und die Kleine Schneegrube, zwei kolossale, 300 m tief abfallende Nischen in der Kammwand. Von der vielbesuchten Schneegrubenbaude aus hat man die volle Aussicht in die wilden, nur durch einen schmalen Grat getrennten Felskessel, deren Grund ein von alpinen und nordischen Pflanzen überwachsenes Trümmerwirrwarr bildet. Kleine Schneefelder bleiben darin den ganzen Sommer über liegen, auch Tümpel klaren Wassers haben sich in Vertiefungen angesammelt. Wie vereinzelte Moränenreste beweisen, sind beide Felskessel echte Kare, von den Gletschern der letzten Eiszeit ausgeweitete Talrinnen.

Ähnlichen Bildungen, wenn auch nicht von der großartigen Wildheit der Schneegruben, begegnet man häufig im Schwarzwald. Das „Zastler Loch" am Nordabhang des Feldbergs,

in dessen Tiefen der Schnee ebenfalls erst im August schmilzt, dürfte mit seiner hufeisenförmigen Umrahmung das Sammelbecken eines diluvialen Gletschers vorstellen. Der Boden der meisten Schwarzwaldkare war nach dem Schwinden des Gletschers mit Wasser bedeckt, heutzutage sind diese kleinen Seen meist versumpft oder auch künstlich trockengelegt worden, so daß sich Torfmoore, Wiesen und Ackerfeld auf dem Grunde der alten Gletscherwannen ausbreiten.

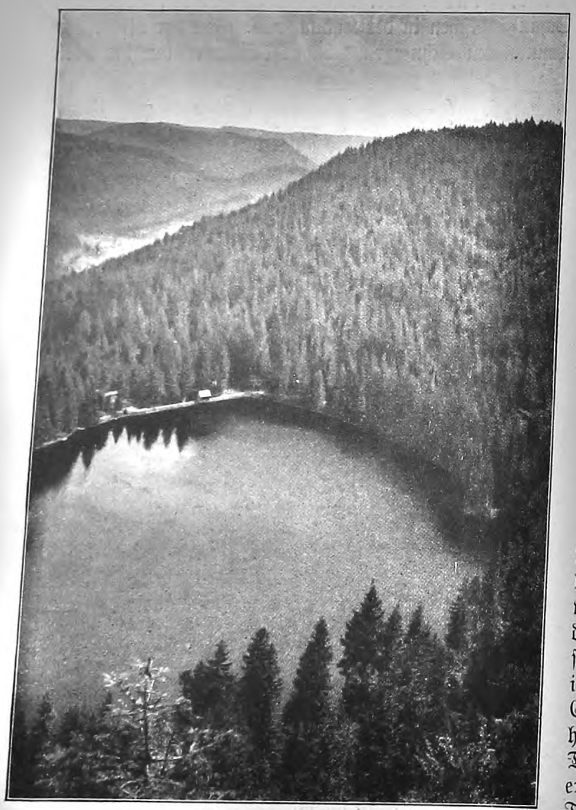


Abb. 258. Der Glaswaldsee bei Rippoldsau. Typus eines moorfreien Karsees des Schwarzwaldes.

Wo die Seen noch erhalten sind, entstehen Bilder von seltener Schönheit. Der Charakter der Landschaft trägt hier viel weichere Züge als in den starren Felseinöden der alpinen Zirkustäler, die ehemals so schroffen Karwände sind zu tannenbedeckten Halden geworden, nur hier und da treten noch Klippen und felsige Wandstufen aus dem tiefdunklen Grün des Hochwaldes hervor. Ungemein überraschend und von eigenartigem Zauber ist der Einblick in den tiefen waldumrahmten Kessel, auf dessen Grunde sich ein düsterer unbeweglicher Spiegel ausbreitet. So sieht man vom Seebuck, dem Vorgipfel des Feldbergs, hinab auf den einsamen Feldsee, von der Hornisgrinde auf den tiefbraunen, durch die traurige Sage vom „Mümmeli" (Seefräulein) und dem jungen Hirten allbekannten Mummelsee.

Unser Bild zeigt den Glaswaldsee bei Rippoldsau am Kniebis, der dem Mummelsee ähnlich, nur etwas kleiner ist. Alle diese Seen sind flach, entgegen dem Volksglauben, der sie für unergründlich hält, ja in einigen den Eingang zur Unterwelt sieht. Die Kargletscher vermögen eben wegen ihrer Kleinheit im anstehenden Fels nur flache Wannen auszuhobeln, während man den großen Talgletschern, wie wir sogleich sehen werden, weit stärkere Einwirkung auf die Bodengestaltung zutrauen kann.

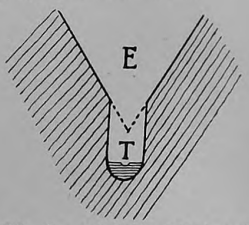


Abb. 259. Trogtal, schematisch dargestellt.

Nachdem wir die Wirkungen im Wurzelgebiet der Gletscher kennen gelernt haben, wollen wir ihre Einflüsse weiter talabwärts verfolgen. Täler, die lange Zeit hindurch mächtigen Eisströmen zum Bett gedient haben, zeigen in ihrem Grunde eine trogförmige Einsenkung mit sehr steilen Gehängen und flachkonkaver Talsohle. Das Normalprofil eines durch Flußerosion und Verwitterung entstandenen Tales ist der Theorie nach V-förmig; weil aber die Talfurche meist bis zu einer gewissen Höhe von Gehängeschutt und jungem Schwemmland ausgefüllt ist, so ist das V unten abgestumpft, der wirklich sichtbare Querschnitt sieht also ungefähr so aus: ⌵. An Stelle des abgestumpften Endes ist nun bei alten Gletschertälern ein Trog von U-förmigem Querschnitt eingesenkt, und das Gesamtprofil eines derartigen Tales läßt sich schematisch so darstellen, wie Abb. 259 zeigt. Die Flanken der Tröge sind häufig so steil, daß sie infolge Verwitterung rasch abbröckeln und als Felswände erscheinen, deren Fuß mit Schutt-

halden umsäumt ist. Am oberen Rande der Trogwände beginnen die sanften Böschungen des alten, voreiszeitlichen „Verwitterungstales". Man kann sie sich, abwärts immer im gleichen Gefälle, verlängert denken, bis sie sich in beträchtlicher Höhe über dem Grunde des Troges schneiden, und findet so die mutmaßliche Lage der ehemaligen Talsohle, deren senkrechter Abstand von der heutigen uns ein Maß der erfolgten Glazialerosion liefert (vgl. Abb. 259).

Die geschilderten Verhältnisse treten in vielen Hochtälern der Alpen aufs deutlichste zutage. Das Tal von Chamonix haben wir schon oben besprochen, als weiteres Beispiel seien die „Gründe" des Zillertales genannt, das sich bekanntlich oberhalb Maierhofen in vier zu den Gletschern aufsteigende Äste gabelt. Drei von ihnen sind nach Penck typische Tröge. Am häufigsten begangen wird der zur Berliner Hütte emporführende Zemmgrund. Man erreicht ihn durch die wildromantische, von einem Gletscherbach ausgenagte Dornaubergklamm. Oberhalb der tiefen Spalte führt der Weg eine Strecke zwischen furchtbar steilen Trogwänden hin, kolossale abgestürzte Trümmer liegen im Grunde der Talschlucht. Dann weitet sich das Tal zu einer freundlichen Lichtung, aus der die Häuser des Dörfchens Dornauberg herübergrüßen. Hier mündet das Floitental, eins der prächtigsten Trogtäler der Alpen, das sich vier Stunden weit fast geradlinig bis zur Zunge des Floitenkees, des längsten Zillertaler Gletschers, hinaufzieht. Die Einsenkung des Troges in das alte V-förmige Tal ist hier mit modellartiger Schärfe ausgebildet (Abb. 260).

Eine halbe Stunde weiter aufwärts gelangt der Wanderer in die Mündung der Gunkel, deren nur kurzes Tal mit einer großartigen, mehrere hundert Meter fast senkrecht abstürzenden Stufenwand abschließt. Es ist eine gewaltige, ganz wie ein Kar aussehende Rundung, und doch kann hier von Karbildung keine Rede sein, weil die Wurzeln der Gletscher noch stundenweit höher an den Gehängen liegen. Das vergleichende Studium der Trogtäler führt zu der Erkenntnis, daß sie fast ausnahmslos mit derartigen Talstufen endigen, nur zeigen diese nicht überall so großartige Felsabstürze wie in der Gunkel. Jede Stufe markiert offenbar eine scharfe Grenze, unterhalb der die Glazialerosion viel stärker sich betätigte als oberhalb. Was war der Grund für dieses plötzliche Einsetzen der talauspflügenden Kraft? Die Lage der Stufen gibt die nötige Aufklärung. Sie sind, wie Penck feststellt, durchweg an Stellen gebunden, wo in der Eiszeit mehrere

Abb. 260. Das Floitental in den Zillertaler Alpen, ein typisches Trogtal.

kleine Gletscher zusammenstießen und sich zu einem größeren Strom vereinigten. Dieser mußte bei seiner viel bedeutenderen Mächtigkeit einen weit stärkeren Druck auf den Talboden ausüben als die Quellgletscher, woraus sich die plötzliche Steigung der Glazialerosion unterhalb des Zusammenflusses befriedigend erklärt.

Verfolgt man ein Trogtal abwärts bis zu seiner Mündung in das Haupttal, so steht man in der Regel vor einer neuen plötzlichen Unterbrechung. Der bis dahin ziemlich gleichmäßig

abfallende, streckenweise fast ebene Trogboden endigt mit einem Male hoch über der Sohle des Haupttales; es ist, als sei die Fortsetzung abgebrochen und in die Tiefe gesunken. Am Rande des steilen Abhangs stehend, blicken wir hinüber auf die andere Seite des Haupttales und erkennen dort die Mündungen anderer Seitentäler, die annähernd in der gleichen Höhe ebenso plötzlich abbrechen wie das unsrige. Die aus den Trögen kommenden Bäche haben in die felsigen Abstürze tiefe Klammen eingerissen, manchmal ergießen sie sich auch frei an den Wänden als weithin sichtbare Wasserfälle zu Tal. Suchen wir ein anderes Talsystem der Alpen auf, so zeigt sich genau das gleiche Bild: überall liegt die Sohle des Haupttals viel zu tief für die einmündenden Nebentäler.

Ein sehr charakteristisches Beispiel ist die Vereinigung der Zillertäler Gründe zu der breiten, bei Maierhofen beginnenden Talflur. Ob der Wanderer durch die Dornaubergklamm zum Zemmgrund, ob er über Finkenberg ins Tuxer Tal, ob er zum Stillup- oder Zillergrund emporsteigt, stets hat er von dem weiten, ebenen Talbecken aus einen bedeutenden Höhenunterschied zu überwinden, um auch nur den Eingang eines der „Gründe" zu erreichen. Ist er dann oben im Nebental, so hört das unbequeme Klettern auf, und ein sanft ansteigender Boden liegt vor ihm. Aber auch hier wiederholt sich bei neuen Verzweigungen der gleiche jähe Geländewechsel. So bricht die obenerwähnte Gunkel dicht vor dem Zemmtal mit einer 400 m hohen Stufe ab, die auf leiterartigen Treppen erklettert werden muß.

Die auffällige Übertiefung der Haupttäler kann nur zweierlei Ursachen haben: entweder hat sich ihr Talboden in geologisch sehr kurzer Zeit stark gesenkt, oder die Erosion hat in ihnen viel stärker gewirkt als in den Seitentälern. Bleiben wir einen Augenblick bei der ersten Annahme. Langgestreckte Einbrüche der Erdkruste, die ganz den Eindruck von Tälern machen, sind den Geologen wohlbekannte, ziemlich häufig vorkommende Erscheinungen; man bezeichnet sie als „Grabenversenkungen" oder kurzweg „Gräben". Die Entstehung der Oberrheinischen Tiefebene zwischen Basel und Mainz, die für ein Erosionstal, welcher Art es auch sei, viel zu breit ist, wird auf solche Einbrüche zurückgeführt.

Aber wenn sich irgendwo eine Grabenversenkung bildet, so hinterläßt sie an den stehenbleibenden Flanken deutliche Spuren; einzelne Schichten sind ein Stück weit mit in die Tiefe gesunken oder wenigstens abwärts gekrümmt oder auf andere Weise aus ihrem Zusammenhange herausgerissen. Davon ist in den übertiefsten Alpentälern, selbst in den breitesten, wie z. B. dem Inntal, nichts nachweisbar. Bleibt also die Erosion als vertiefende Kraft, aber vollbrachten die Flüsse oder die Gletscher das große Werk? Läge hier ein Ergebnis der Flußerosion vor, so müßten die Täler sich noch heute fortgesetzt vertiefen. Das ist tatsächlich der Fall in den schmalen Hochtälern mit starkem Gefälle, deren Grund anstehender Fels bildet. Hier stürzt das Wasser über eine Unzahl kleiner Stufen hinab, nagt tiefe Rinnen in den Fels, wühlt kesselförmige Löcher und große Kolke aus. Aber in den tiefer gelegenen, schwach geneigten Talstrecken überwiegt die Tendenz zur Aufschüttung. Die weiten Auen des Inntals von Innsbruck bis Rosenheim, des Zillertals unterhalb Mairhofen, des Rheintals zwischen Sargans und dem Bodensee usw. sind fast überall von mächtigen Schottermassen überdeckt, die erst nach der Eiszeit von den Flüssen dorthin getragen wurden und die übertiefsten Täler vielfach bis zu 50, ja 100 m Höhe wieder ausfüllten. Die Übertiefung selbst muß während der Eiszeit erfolgt sein, sie kann ihre Ursache nur in der Glazialerosion haben.

In dieser Meinung bestärkt uns der Umstand, daß die übertiefsten Täler ihrer Verbreitung nach zusammenfallen mit den eiszeitlichen Gletschern. Wo diese im Alpenvorland ihr Ende fanden, hört auch die Übertiefung auf, mit anderen Worten: jenseits der ehemaligen Gletscherzungen, also in der Richtung vom Gebirge weg, steigt der Talboden wieder an, bis er ungefähr sein voreiszeitliches Niveau erreicht. Aber findet eine solche Umkehr des Gefälles in den äußeren Alpentälern wirklich statt? und was wird aus den Flüssen, wenn sie auf ihrem Wege ins Tiefland plötzlich an eine Stelle kommen, wo der Weg jeder normalen Talentwicklung zuwider bergauf führt?

Sofern nicht, was selten zutrifft, ein seitliches Ausweichen möglich ist, bleibt den Flüssen wohl nichts anderes übrig, als das ungewohnte Hindernis zu durchnagen. Aber das ist kein leichtes Stück Arbeit, da die Gletscher in der Regel den felsigen Talboden bis zu einer Tiefe von mehreren hundert Metern ausgehöhlt haben. Es mußten auf diese Weise langgestreckte Vertiefungen entstehen, die wie Wannen in die alten Talböden eingesenkt sind. Als die Eis-

Die Montblanc-Kette vo

n Mt. Brévent aus gesehen.

ströme sich zurückzogen, füllten sich die Wannen mit Schmelzwasser, das immer höher stieg, bis endlich der große Wasserbehälter an der niedrigsten Stelle seiner Wand überlief und nach mannigfachen Schwankungen das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluß hergestellt war. In diesem Zustand sind die „Zungenbecken" der alten Gletscher bis heute verblieben: als prächtige Seen schmücken sie im Norden und Süden den Rand der Alpen und ihr Vorland.

Die Alpenseen.

Schon die langgestreckte Gestalt der meisten Alpenseen läßt darauf schließen, daß sie nichts anderes sind als besonders tiefgelegene, „ertrunkene" Talstrecken. Verdankt doch der Langensee (Lago maggiore) dieser Form seinen Namen, und ebenso typisch ist sie beim Como- und Gardasee ausgebildet. Auf der Nordseite der Alpen bieten uns Neuenburger, Züricher, Starnberger und Attersee klassische Beispiele. Aber auch die Könige der Alpenseen, der halbmondförmige, 70 km lange Genfer See und das „Schwäbische Meer", der Bodensee, liegen in riesigen, von der Glazialerosion ausgetieften Zungenbecken. Die enorme Mächtigkeit der vom alten Rhone-, bzw. Rheingletscher ins Vorland hinausgeschobenen Eismassen schuf hier Verhältnisse von einer Großartigkeit, die sonst im Randgebiet der Alpen nicht wiederkehrt.

Alle diese Seen sind im Verhältnis zu ihrer Länge ziemlich flach, wie folgende Tabelle deutlich macht:

	Länge in Kilometern	Größte Tiefe in Metern	Verhältnis der Tiefe zur Länge
Genfer See	70	310	1 : 226
Neuenburger See	48	154	1 : 312
Vierwaldstätter See	36	214	1 : 168
Zürichsee	40	143	1 : 280
Bodensee	63	252	1 : 250
Attersee	20	171	1 : 117
Gardasee	55	346	1 : 130
Comersee	50	414	1 : 121
Langensee	64	353	1 : 181

Man darf demnach keineswegs, wie manche Schriftsteller getan haben, die Alpenseen als „tiefe Löcher im Grund der Täler" bezeichnen, es sind vielmehr nur flache Wannen, deren Existenz das Fortschreiten der eiszeitlichen Riesengletscher gewiß nicht im geringsten hemmen konnte. Gegner der Glazialerosion haben behauptet, daß sich am Grunde der Seebecken „tote", unbewegliche Eismassen hätten ansammeln müssen, so daß dort keine Erosionswirkung möglich gewesen wäre. Erst über die ausgefüllten Becken hinweg habe der „lebendige" Gletscher sich fortbewegt. Dieser Einwand wurde zu einer Zeit erhoben, als man noch nicht wußte, daß Gletscher auch bergaufwärts fließen können, wenn nur ihr Oberflächengefälle*) größer ist als die Steigung des Abhangs, den sie überwinden müssen. Diese Bedingung war zweifellos in der Eiszeit erfüllt, da die Eismassen, wie sich aus den gefundenen Moränenresten schließen läßt, oberhalb der Seen mehrere hundert Meter mächtiger waren als an deren unterem Ende. Wohl aber ist denkbar, daß die Erosion schließlich zum Stillstande kam, als die Wannen eine gewisse Tiefe erreicht hatten und die Gegenböschung zu steil geworden war, um noch ein Fortschieben des Eises auf dem Grunde zu gestatten.

Hierbei darf man nicht außer acht lassen, daß die Seen seit ihrer Entstehung bedeutend seichter geworden sein müssen. Einmal haben sich ihre Abflußrinnen durch Erosion erheblich vertieft, was ein allmähliches Sinken des Seespiegels zur Folge hatte, und dann werden die Becken von den einmündenden Flüssen und Bächen immer mehr zugeschüttet. Die stärkeren Zuflüsse haben ausgedehnte Deltas in ihnen abgelagert, was man in besonders großem Maße bei der Einmündung des Rheins in den Bodensee beobachten kann. Wenn der See schmal ist, kann es vorkommen, daß er durch Zuschüttung in zwei Teile zerlegt wird. So ist es mit dem Thuner und Brienzer See gegangen, die früher zusammenhingen, aber jetzt durch das „Bödeli", das Delta der Lütschine, voneinander getrennt sind. Man hat mehrfach versucht, den Betrag der jährlichen Zuschüttung zu ermitteln, und ist dabei zu kolossalen Zahlenwerten gelangt. Beispielsweise soll die Kander im Thuner See jährlich 300000 cbm, die Aare im Bieler See gar 450000 cbm Geschiebe ablagern. Dazu kommt noch der feine Schlamm und Sand, der sich am Grunde der Seen absetzt und dessen Menge schwer mit einiger Genauigkeit zu schätzen ist. Nach Brückner wäre sie bedeutend genug, um selbst den tiefsten der Alpenseen, den Genfer See, binnen 30000 Jahren bis zum Rande auszufüllen. Manche andere, wie den Züricher und Bieler See, dürfte dasselbe Schicksal in viel kürzerer Zeit ereilen.

*) Genauer: das Gefälle einer Linie, welche die Schwerpunkte der Querschnitte des Gletschers verbindet.

Mag auch allen solchen Berechnungen eine gewisse Unsicherheit anhaften, so steht doch unzweifelhaft fest, daß die Alpenseen dem Untergang geweiht sind. Bei vielen ist die Verlandung schon recht weit vorgeschritten, so beim Vierwaldstätter See, dessen oberster Zweig, der von riesigen Felsmauern eingeschlossene Urner See, einst viel weiter südlich, bis über Altdorf hinausreichte. Auf der anderen Seite erstreckte sich ein Arm des Vierwaldstätter Sees von Brunnen bis in die Gegend von Schwyz und Steinen; er ist heute bis auf den kleinen, immer mehr schwindenden Lowerzer See völlig zugeschüttet. Der Bodensee sandte früher bei Friedrichshafen eine spitze Bucht ins Land, die halbwegs bis Ravensburg reichte; der kleine Schussenbach hat sie ausgefüllt. Zahlreiche kleine Seen, die noch auf älteren Karten verzeichnet sind oder in Urkunden des 17. und 18. Jahrhunderts erwähnt werden, sind heute gänzlich von der Erdoberfläche verschwunden.

Die Geschwindigkeit, mit der die Verlandung sich vollzieht, zwingt zu dem Schluß, daß noch kein gar so langer Zeitraum verflossen sein kann, seitdem das Eis die Seebecken freigegeben hat. Wahrscheinlich wurden schon in der *ersten* Eiszeit Wannen ausgetieft (die sich aber nur teilweise mit den späteren decken), in der folgenden Zwischeneiszeit bestanden sie jahrtausendelang als Seen und wurden allmählich zugeschüttet. Dann kam die *zweite* Eiszeit, die Gletscher rückten wieder vor, räumten alles lockere, die Täler füllende Material mit Leichtigkeit aus und setzten die Erosion des anstehenden Felsgrundes fort, so daß die eisgefüllten Wannen immer tiefer wurden. Dasselbe Spiel wiederholte sich noch zweimal; ob es heute endgültig abgeschlossen ist, hängt vom Kommen oder Nichtkommen einer neuen, fünften Eisperiode ab.

Es darf dem Leser nicht verschwiegen werden, daß die hier wesentlich nach *Penck und Brückner* vorgetragene Theorie von der Entstehung der Alpenseen noch keineswegs allgemein anerkannt ist. Die Theorie ist ziemlich alt — im Jahre 1859 stellte der englische Geologe *Ramsay* die Vermutung auf, daß die Seebecken während der Eiszeit lediglich durch die Gewalt der Gletscher aus dem weichen Molassesandstein ausgehöhlt worden seien — aber sie wurde wie manche andere gar nicht so üble Idee auf Jahrzehnte in die Rumpelkammer der Geologie getan, und die Versuche einzelner Forscher, sie zu rehabilitieren, verliefen angesichts der ablehnenden Haltung der ersten Autoritäten im Sande. Merkwürdigerweise wollten die Schweizer Geologen am wenigsten von der Glazialerosion wissen. Die meisten von ihnen waren der Ansicht, daß die großen Seen schon in der Tertiärzeit existiert hätten und in tiefen Mulden lägen, die bei der Gebirgsbildung entstanden wären. Großen Anklang fand die Theorie des Züricher Geologen *Heim*, nach der die Alpen in der älteren Eiszeit ein paar hundert Meter gesunken seien, während das Vorland stehenblieb, so daß die Täler an der Grenze beider Gebiete wieder aufwärts führen mußten. Aber soweit man die alte tertiäre Landoberfläche heute noch verfolgen kann, steigt sie überall ziemlich gleichmäßig gegen das Hochgebirge an; nirgends zeigt sich ein Umkippen, ein Abfallen, wie es notwendig wäre, wenn die Alpen sich tatsächlich um einen so bedeutenden Betrag gesenkt hätten.

Nach anderen Erklärungsversuchen lägen die Seen in alten, „verbogenen" Tälern, deren Boden ungleichmäßig gehoben und gesunken sei. Die auffällig in die Länge gestreckten *oberitalienischen Seen* wurden vielfach als *Fjorde* des jetzt verschwundenen Meeres der Poebene gedeutet. Fjordartig ist in der Tat der Anblick dieser tief ins Gebirge einschneidenden, zum Teil stark gewundenen und sich gabelnden Gewässer; auch ihre Lage (der Gardasee reicht an der tiefsten Stelle 281, der Comosee 215 m *unter* den Spiegel des Adriatischen Meeres hinab) scheint jene Deutung zu unterstützen. Nun ist die Entstehung der Fjorde selbst, wie wir früher gesehen haben, noch lebhaft umstritten. Zweifellos sind es nachträglich unter Wasser gesetzte Täler, aber was für Kräfte haben sie so tief in das felsige Küstengebirge eingegraben? Die Trogform, der U-förmige Querschnitt der Fjorde, klärt uns dahin auf, daß es die Erosionswirkung des Eises war. Nun wird auch verständlich, warum die Fjorde nur in Gegenden vorkommen, die ehemals ausgedehnte Vergletscherungen erlebt haben, wie Norwegen, Schottland, Neufundland, Patagonien. *Die Fjorde sind eben nichts anderes als übertiefte Täler, deren untere Strecken ins Meer getaucht sind.*

Da die Übertiefung am Gletscherrande endigt, so sind die echten Fjorde an ihrer Mündung seichter als weiter landeinwärts, wo die Tiefe oft viel beträchtlicher ist als im flachen, vorgelagerten Strandmeer. Daher würde in vielen Fällen eine geringe Hebung der Küste genügen, um die Fjorde vom Meere abzuschneiden und zu langgestreckten Binnenseen nach

Art der oberitalienischen zu machen. Trotzdem dürfen wir diese nicht als ehemalige Fjorde betrachten; denn als die Übertiefung begann, war das Meer aus der lombardischen Tiefebene schon abgeflossen, und wenn es in der Tertiärzeit wirklich Buchten ins Alpengebiet entsandt hat, so deckten sich diese doch keineswegs mit den späteren Binnenseen. Beim Gardasee hielt man noch vor kurzem den ehemaligen Zusammenhang mit dem Adriatischen Meere für erwiesen, weil in seinen Fluten Fische und einige niedrige Tierarten leben, die sonst nur im Meere vorkommen. Da aber der ganze See während der Eiszeit vom Etschgletscher ausgefüllt war, so ist nicht einzusehen, wie Lebewesen darin hätten ausdauern können. Man wird vielmehr annehmen, daß die Tiere erst nach Abschluß der Eiszeit durch Einwanderung oder Verschleppung in den See gelangten und sich dort dem Süßwasserleben anpaßten, was ja vielen Arten nicht schwerfällt.

Wenn wir Penk Glauben schenken dürfen, verdanken die heutigen Alpen der Eiszeit noch viel mehr als den Besitz der prächtigen Seen, die ihre Täler schmücken. Alles, was man unter Hochgebirgsformen versteht: zackige Kämme und Grate, steilabbrechende Gipfel, stolze Felstürme und kecke Spitzen, sollen die Gletscher aus einem bereits stark abgetragenen, unansehnlich gewordenen Rumpfgebirge herausmodelliert haben. Durch die beträchtliche, oft Hunderte von Metern erreichende Talvertiefung nahm die relative Höhe der Bergketten um ebensoviel zu. Überdies hat nach dem genannten Forscher gegen Schluß der Eiszeit nochmals eine bedeutende Aufwölbung der Alpen stattgefunden, wobei das Innere des Gebirges stärker gehoben wurde als die Randzonen (also das gerade Gegenteil der Heimschen Theorie vom Rücksinken der Zentralalpen). Beide Umstände: langanhaltende Vergletscherung und ungleichmäßige Hebung hätten also das Gebirge gleichsam verjüngt, so daß es den Eindruck eines erst kürzlich unter heftigen Zuckungen der Erdrinde emporgepreßten Faltengebäudes macht. Wir werden später noch andere Ursachen kennen lernen, die eine Auferstehung alter, zeitweilig ganz von der Erdoberfläche verschwundener Hochgebirge bewirken können.

Fünftes Kapitel. Gletscherkatastrophen.

Unser Bericht von den Gletschern und ihren Wirkungen wäre unvollständig, wenn wir nicht jener furchtbaren Katastrophen gedächten, die von Zeit zu Zeit die von den Gletschern überragten Gebirgstäler heimsuchen. Schon früher wurde erwähnt, daß sich an steilen übergletscherten Abhängen öfters Eisstücke ablösen und in die Tiefe stürzen. Solche kleine Eisbrüche verlaufen meistens ohne Schaden, es sei denn, das Unglück führe gerade eine Touristenpartie quer über die Fallbahn. Aber von Hängegletschern brechen hin und wieder auch größere Massen ab und sausen als verheerende Eislawinen in die unten liegenden Täler. Einzelne Gletscher, z. B. der Biesgletscher unterhalb des Zermatter Weißhorns, sind berüchtigt wegen ihrer Neigung zu solchen Katastrophen.

In den Alpen ereignete sich der letzte große Gletschersturz am 11. September 1895. Von der Höhe des Altels, eines den Gemmipaß überragenden Berges, löste sich eine rund 5 Millionen Kubikmeter fassende Eismasse ab und stürzte etwa 1400 Meter tief auf die Spitalmatte, eine große bewirtschaftete Alp, hinab. Sechs Menschen und 140 Stück Vieh wurden getötet sowie ein Arvenwald vom Boden fortgerissen. Durch die Gewalt des Aufpralls auf den Talboden zerstob die ungeheure Eismasse in alle Winde, so daß es weitum feinen Eisstaub regnete. „Den letzten Teil ihres Weges, über den steilen Felskopf von Tatelen, muß die Lawine in freier Luft zurückgelegt haben, und die dadurch förmlich gequetschte Luft war es, welche die Bäume, einer Chausseewalze vergleichbar, durch ihren Druck reihenweise niederwarf." (Günther). Als letzte Ursache dieses riesigen Gletscherbruchs gilt die ungewöhnliche Hitze des vorausgegangenen Sommers. Der Gletscher war vom Untergrunde losgetaut und verlor auf den glatten, aus steil geneigten Kalkplatten bestehenden Abhängen jeglichen Halt. In anderen Fällen soll eine Überlastung des Firnfeldes mit Schnee die Veranlassung zu plötzlichen Eisstürzen gegeben haben.

Häufiger und noch viel verderblicher in ihren Wirkungen ist eine andere Art Gletscherkatastrophen. Wenn ein Gletscher vorrückt, so kann es vorkommen, daß er dem Bach eines Seitentales den Weg abschneidet und ihn zum See aufstaut. Bisweilen läuft das zurückgehaltene Wasser nach einiger Zeit unter dem Eise ab, ohne viel Schaden anzurichten,

oft aber sammeln sich so bedeutende Wassermengen an, daß bei einem plötzlichen Durchbruch die schlimmsten Verheerungen angerichtet werden. Der Vernagtferner in den Ötztaler Alpen ist seit alters wegen seiner „Ausbrüche" verrufen. In ruhigen Zeiten liegt die Zunge des Gletschers hoch oben in einem Seitentälchen des Rofentals. Aus noch ungenügend aufgeklärten Ursachen rückt der Gletscher zeitweilig ungemein rasch vor und schiebt dann seine Eismassen quer über das Rofnertal bis zur jenseitigen Talwand. Hinter diesem Eisdamm staut sich die Rofner Ache zum See, der nach monate- oder jahrelangem Bestehen plötzlich abfließt und das Ötztal verheerend überflutet.

Die ältesten Katastrophen fanden in den Jahren 1600, 1678 und 1680 statt. Auch im Jahr 1772 drohte das gleiche Unglück, und die geängstigten Talbewohner sandten Bericht und Boten nach Wien um Hilfe, doch wußte man dort keinen anderen Rat, als einen großen Bohrer zu schicken, mit dem der Eisdamm angezapft werden sollte. Die Herren vom grünen Tisch müssen sonderbare Vorstellungen vom Wesen der Gletscher gehabt haben! Glücklicherweise floß um Weihnachten 1772 das Wasser langsam und ohne Schaden anzurichten ab. Im Jahr 1843 begann der Vernagtferner neuerdings mit rasender Geschwindigkeit zu wachsen. Man war jetzt bescheidener geworden in den Ansprüchen auf menschliche Kunst; die ins Ötztal entsandte Kommission begnügte sich, die Tatsache des Gletschervorstoßes festzustellen; im übrigen mußte man den Dingen ihren Lauf lassen. Am Nachmittag des 14. Juni 1845 brach der Stausee durch und war binnen einer Stunde vollständig abgeflossen. Die gewaltige Flutwelle stürzte in rasendem Laufe das Ötztal hinab, überall Wiesen und Gärten mit fußhohem Geröll überschüttend, rasierte Brücken und Häuser vom Boden weg und richtete noch weit unten im Inntal schlimme Verwüstungen an. Kleinere Ausbrüche erfolgten noch mehrfach in den folgenden Jahren. Dann ging der Gletscher zurück, die Sperre aufhebend, doch erst 1883 waren die letzten Eisreste aus dem Rosental verschwunden; heute liegt das Gletscherende wieder hoch im Vernagttal, aber mancherlei Anzeichen sprechen dafür, daß ein neuer Vorstoß nicht mehr lange auf sich warten lassen wird.

Ähnlich liegen die Verhältnisse im Martelltal (Südtirol), wo die Zunge des Zufallferners gelegentlich das Wasser der Plima aufstaut. Die rasch sich wiederholenden Ausbrüche der Jahre 1888—91 haben weite Strecken völlig vermurt; das Dörfchen Gand wurde einmal fast ganz zerstört. Jetzt hofft man dem Übel durch die Anlage eines künstlichen Stausees, der die ausbrechenden Fluten auffängt und langsam weiterleitet, gesteuert zu haben.

Aus unbekannten Gründen scheinen sich manchmal im Gletscherinnern selbst kolossale von Wasser erfüllte Hohlräume, sogenannte Wasserstuben, zu bilden. Nagt dann das flüssige Element die Eiswand durch, so muß eine ähnliche Katastrophe eintreten, wie beim plötzlichen Abfließen der Stauseen. Die meisten Leser werden sich noch der erschütternden Berichte erinnern, die die Zeitungen im Sommer 1892 vom Untergang des savoyischen Bades St. Gervais brachten. In der Nacht vom 11. auf 12. Juli wälzte sich gänzlich unerwartet über den kleinen, in enger Felsschlucht gelegenen Ort eine verheerende Wasserwoge, die ungeheure Massen von Schlamm, Baumstämmen, Geröll, Eis- und Felsblöcken mit sich führte. Die Wirkungen waren entsetzlich: drei Vierteile der Hotelgebäude sanken widerstandslos in sich zusammen, vor allem ein quer über das Tal stehender Flügel, der den Hauptstoß abbekam, sowie alles, was alt und schwach gebaut war. Die stehengebliebenen Mauern waren bis zur Höhe des ersten Stockwerks in einem zähen, mit Felstrümmern dicht gespickten Schlammbrei begraben. Zwei Drittel der Badegäste und fast sämtliche Hotelangestellte, im ganzen 130 bis 140 Personen, fanden ihr Grab in den trüben Fluten oder wurden von den einstürzenden Gebäuden erschlagen, auch in den benachbarten Ortschaften Bionnay und Le Fayet kamen etwa 40 Menschen ums Leben.

Wahrhaft erstaunlich soll die Menge der fortgeschwemmten Baumstämme gewesen sein. Als die Wassermasse in die enge Schlucht von Bionnay gelangte —, wo sie ihren Ursprung nahm, werden wir sogleich sehen —, riß sie auf beiden Seiten alles lose Material, Gehängeschutt, alten Moränenboden, Erdreich, Bäume und Sträucher mit sich fort. Dadurch wurden die Wände der Schlucht förmlich ausgehöhlt und die oberen Gehänge der Stütze beraubt; gewaltige Felsmassen und große Stücke Waldboden stürzten samt den darauf wachsenden Tannen in die rasenden Fluten, deren Höhe in dem Engpaß 30 Meter erreicht haben soll. Die dicht nebeneinander treibenden Stämme verfingen sich mit ihren Ästen und bildeten förmliche Flöße, auf denen manche der herabstürzenden Blöcke liegen blieben und tal-

abwärts schwammen. Nicht minder erstaunlich sind die riesigen Dimensionen der vom Schlammstrom fortgewälzten Felsblöcke. Einige, deren Rauminhalt sich nahezu auf 200 Kubikmeter belaufen dürfte, haben gerade an der Stelle des zerstörten Bades ihren Ruheplatz gefunden (Abb. 261).

Unterhalb der Enge von St. Gervais mündet die Bachschlucht in das weite, einer Ebene gleichende Tal der Arve. Hier breitete sich die dickflüssige Masse aus und überdeckte einen Raum von 75 Hektar mit einer durchschnittlich 80 Zentimeter hohen Schlammschicht. Wenige Stunden später war der Bach, dessen plötzliches Hochwasser ein so entsetzliches Unglück angerichtet hatte, wieder auf seinen gewöhnlichen Stand gesunken.

Wie der Augenschein lehrt, handelt es sich bei der Katastrophe um eine Mure von ungewöhnlicher Gewalt und Furchtbarkeit. Rätselhaft blieb zunächst die Veranlassung; sonst gehen Muren nach starken Regengüssen nieder, aber an den vorangehenden Tagen war fast gar kein Regen gefallen. Ebensowenig war von der Existenz eines Gletscherstausees oberhalb St. Gervais auch nur das geringste bekannt geworden. Doch brachten die Bemühungen einiger Genfer Naturforscher bald Licht in die Sache. Schon aus größerer Entfernung konnte man bemerken, daß der kleine Gletscher der Têtes-Rousses seit der Katastrophe eine gewisse Veränderung in seinem Aussehen zeigte: es fehlte der untere Teil. Wie die Untersuchung an Ort und Stelle ergab, war eine ziemlich bedeutende Eismasse abgestürzt, und in der Mitte der Bruchwand zeigte sich ein weites Eistor von 20 Meter Höhe und 40 Meter Breite. Man wagte es, dem unheimlichen Tunnel zu folgen, und gelangte nach kurzer Zeit in einen weiten, oben offenen Raum von elliptischem Umriß: eine Art riesiger Gletschermühle, deren senkrechte Wände deutliche Spuren davon zeigten, daß der ganze Raum mit Wasser gefüllt gewesen war. Damit war die Erklärung der Katastrophe gefunden. Die gesamten Hohlräume konnten nach zuverlässiger Schätzung mindestens 100 000 Kubikmeter fassen; wenn diese gewaltige Masse das absperrende Ende des Gletschers wegdrückte und samt dem Eis bergabwärts stürzte, so waren die entsetzlichen Wirkungen nur zu leicht verständlich.

Abb. 261. Der Schauplatz der Katastrophe von St. Gervais. Nach Toula.

Viel gestritten wurde damals um die Frage, ob der ungeheure Hohlraum ein seit

langer Zeit offenes Becken im Eise oder ob er eine allseitig geschlossene „Wasserstube" gewesen sei, deren Decke erst unmittelbar vor der Katastrophe einstürzte. Die Genfer Gelehrten neigten der letztgenannten Ansicht zu und vermuteten, daß die aus höheren Lagen des Gletschers herabkommenden Schmelzwasser nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren die Höhlung allmählich ausgefüllt und dabei stark erweitert hätten. Dann müßten aber wohl solche Katastrophen häufiger vorkommen. Wahrscheinlicher ist, daß eine zufällige im Lauf des vorhergehenden Winters eingetretene Verstopfung des Gletscherabflusses die Schuld an dem Unglück trug. Sobald der Bach im Frühsommer stärker zu laufen begann, stauten sich seine Wassermassen am Grunde des Gletschers. Dabei wird sich das Bett durch Abschmelzen des Eises zu dem breiten Tunnel erweitert haben. Als dann an einer schwachen Stelle die Decke einstürzte, entstand ein tiefer Kessel, den der Bach ausfüllte; wie bei allen Eisseen, brachen auch hier die vom Wasser bespülten Wände stückweise ab und wichen immer weiter zurück. Schließlich gab die noch übrige Eiswand dem Wasserdruck nach, und ein ungeheurer Schwall Wasser und Eis ergoß sich über das unglückliche Tal.

Auch durch rasches Vorrücken können die Gletscher in bewohnten Talgegenden mancherlei Schaden anrichten, doch steigert sich das Unheil selten in solchem Maße, daß man von einer Katastrophe reden kann. Das Vorrücken erfolgt ja nicht mit der furchtbaren Plötzlichkeit eines Eissturzes oder Stauseedurchbruchs, sondern ist in den Fels- und Schuttwüsten der Hochtäler schon jahrelang zu beobachten, bevor der Gletscher auf bebautes Land vordringt. Die Bewohner der gefährdeten Höfe haben daher volle Zeit, sich und ihre bewegliche Habe in Sicherheit zu bringen; ja, sie können in aller Ruhe ihre Häuser abbrechen und an einem gesicherten Ort wieder aufbauen. Das vom Gletscher eroberte Land geht der Kultur auf lange Zeit verloren, und wenn sich das Eis nach Jahrzehnten zurückzieht, sind die schönen Almwiesen in öde Steinhalden verwandelt, auf denen erst allmählich eine ärmliche Vegetation Fuß faßt.

Sechstes Kapitel. Gletscherschwankungen.

Die Tatsache, daß die Gletscherenden bald tiefer im Tale, bald höher am Gehänge liegen, war schon vor Jahrhunderten bekannt, doch erst seit 15 Jahren wird über diese Schwankungen systematisch Buch geführt; die „internationale Gletscherkommission" sammelt alle einschlägigen Beobachtungen und gibt sie in alljährlich erscheinenden „Rapports" heraus. Wenn einmal diese Aufzeichnungen einen längeren Zeitraum umfassen, wird man ein vorzügliches Mittel besitzen, um selbst geringfügige Änderungen des Klimas festzustellen. Denn die Gletscher sind empfindliche Klimaanzeiger, auf Zunahme der atmosphärischen Niederschläge, auf ein Sinken der mittleren Sommertemperatur antworten sie binnen kurzer Zeit mit kräftigen Vorstößen.

Über den äußeren Hergang der Gletscherschwankungen lesen wir in Heims Gletscherkunde:

„Während 5, 10, 20 oder gar 30 Jahren sehen wir ohne augenscheinliche Ursache einen Gletscher zunehmen an Länge, Dicke und Breite; er überschreitet seine Grenzen, stößt seine alten Moränen vor sich her, greift hochstämmigen alten Wald an, zertrümmert menschliche Gebäude und bedeckt als steiler, hoher Eiswall, nicht nur 10 oder 15, manchmal 60, 70 und noch mehr Meter jährlich vorschreitend, die Weidegründe. Nachher, wiederum ohne augenscheinliche Ursache, hält er ein, fängt an abzuschwinden; sein Endabsturz, die Gletscherstirn, wird flacher; die hochangeschwollene Gletscheroberfläche sinkt ein; das Ende schmilzt mehr ab, als es nachrückt, es weicht zurück, stets rascher, wiederum während 10, 20 oder noch mehr Jahren, jährlich um viele Meter, schließlich im ganzen um Hunderte von Metern, um mehr als ein Kilometer, so daß man denken sollte, der ganze Gletscher werde bald aufgezehrt sein. Dann aber nimmt das Schwinden ein Ende, und es beginnt abermals eine Zunahme. Die Zeiten des Stillstandes, d. h. des Gleichgewichtes, sind meist nur kurze Zwischenräume."

Genauere Daten über die Zeitdauer der einzelnen Schwankungen liegen bisher nur aus den Alpen und dem skandinavischen Gebirge vor. Es hat sich für diese Gebiete eine gute Übereinstimmung mit den sogenannten 35jährigen Klimaperioden herausgestellt. Wie der Wiener Geograph Ed. Brückner nachweisen konnte, kehren nach ungefähr

35, bisweilen aber auch erst nach 70 Jahren im großen und ganzen die gleichen Witterungsverhältnisse wieder. Beginnt z. B. die Periode mit einer Reihe nasser und kühler Jahre, so folgen darauf andere von vorwiegend warmem und trockenem Charakter, um gegen Ende des Zeitraums wieder kalten und nassen Platz zu machen. Die wechselnden Wasserstände der Seen und Flüsse, die Dauer der Eisbedeckung, das frühe oder späte Eintreffen der Weinlese spiegeln deutlich die Schwankungen der Temperatur und Regenfälle wieder. Auch viele, in alten Chroniken enthaltene Angaben über ungewöhnlich strenge Winter, Mißernten, Teuerungen fügen sich zeitlich gut in die Brücknerschen Perioden ein. Für Norwegen konnte P. A. Oeyen die Verhältnisse bis zum Jahr 970 zurückverfolgen. Auf kalt-nasse Zeiten deuten hier namentlich die „Grünjahre" d. h. Jahre, in denen das Korn grün bleibt, also keine reife Frucht liefert, ferner Berichte über großen Fischreichtum des Meeres, weil die Tiere in besonders kalten Jahren nicht so weit nach Norden wandern wie gewöhnlich.

Gar nichts Sicheres wissen wir von den Ursachen des regelmäßigen Klimawechsels. Wenn sich Lockyers Beobachtung bestätigt, daß die Sonnenflecke eine ähnliche Periode zeigen, könnte man an Schwankungen der Sonnentemperatur denken, die nur ziemlich geringfügig zu sein brauchen, um sich auf Erden schon recht fühlbar zu machen. Unter Physikern und Astronomen herrscht gegenwärtig die Ansicht vor, daß sich in dem Erscheinen zahlreicher Flecken eine erhöhte Tätigkeit der Sonne kundgibt, also auch die Wärmestrahlung der Sonne zunimmt. Damit stimmen manche Erscheinungen auf der Erde gut überein. So sind, wenigstens in Europa, die Frühlingsmonate in fleckenreichen Jahren wärmer als in fleckenarmen, die Blütezeit vieler Pflanzen tritt um 2—3 Wochen früher ein, die Schwalben kehren zeitiger zurück, und die nördlichen Flüsse werden früher im Jahr eisfrei. Interessant ist auch die Feststellung, daß gute Weinjahre mit einer lebhaften Fleckenbildung zusammenfallen. Doch ändert sich das Bild, wenn man die Wärmeverhältnisse nicht des Frühlings allein, sondern des ganzen Jahres in Betracht zieht. Eine Steigerung der Sonnenhitze muß erhöhte Verdampfung, also eine Zunahme der Bewölkung und ein Sinken der Luftwärme zur Folge haben. Namentlich die in den höchsten Luftschichten schwebenden, aus Eisnadeln bestehenden Zirruswolken kommen in den Zeiten zahlreicher Sonnenflecken viel häufiger vor. Mit der vermehrten Wolkenbildung hängt dann weiter eine Zunahme der Niederschläge und ein Steigen der Seen und Flüsse zusammen. Auf dem europäischen Festland sollen in fleckenreichen Jahren etwa 51 Millimeter mehr Regen fallen, in Amerika und England sogar doppelt so viel. Auch die Zahl und Heftigkeit der Hagelschläge nimmt mit den Sonnenflecken zu.

Da Verdampfung und Wolkenbildung in der heißen Jahreszeit am lebhaftesten sind, so werden sich fleckenreiche Jahre durch kühle, regnerische Sommer auszeichnen. Doch ist mit dieser Erkenntnis für die Erklärung der Brücknerschen Klimaschwankungen nicht viel gewonnen. Denn soviel bis jetzt bekannt ist, beträgt die durchschnittliche Länge einer Sonnenfleckenperiode 11 Jahre, es gehen also deren mehr als drei auf eine Klimaperiode. Inwieweit hier ein Zusammenhang besteht, müssen zukünftige Forschungen lehren.

Man hat mehrfach versucht, auch die Gletscherschwankungen mit den periodischen Veränderungen der Sonnentätigkeit in Beziehung zu bringen. Von vornherein wäre ja zu erwarten, daß die Eisströme in fleckenreichen Zeiten kräftig vorstoßen, und bisweilen zeigt sich in der Tat eine derartige Übereinstimmung. Indessen stört hier sehr der Umstand, daß bei den Gletschern stets mehrere Jahre vergehen, bis die Einwirkung des kühleren und nasseren Klimas sich im Wachstum der Zungen zu erkennen gibt. Eine kurze Betrachtung wird uns den Grund dieser Verzögerung klarmachen.

Die Firnfelder, aus denen die Gletscher ihre Nahrung beziehen, liegen größtenteils in Höhen, wo auch im Sommer die Mehrzahl der atmosphärischen Niederschläge in fester Form als Schnee, Graupeln, Hagel, zu Boden fällt. In kühlen Sommern wird dies natürlich noch reichlicher der Fall sein als in heißen, die Firnfelder müssen dicker, mächtiger werden, und der erhöhte Druck muß die Vereisung des Firnschnees beschleunigen. Es sammeln sich also in den oberen Teilen des Gletschers beträchtliche Eismassen an, während das untere Ende zunächst noch so bleibt, wie es vorher war.

Geschähe nun weiter nichts, so würden die verdickten oberen Teile ganz allmählich talabwärts rücken und schließlich in die Zunge gelangen, was bei den einzelnen Gletschern je nach ihrer Länge und Stromgeschwindigkeit sehr verschiedene Zeit beanspruchen und bei vielen 50, ja hundert und mehr Jahre

dauern würde. Danach müßte bald hier, bald dort ein Gletscher vorrücken, je nachdem gerade eine starke Eiswelle seine Zunge anschwellen ließe. Die Beobachtung lehrt aber, daß in einem bestimmten Gebiet fast alle Gletscher gleichzeitig vorstoßen und gleichzeitig zurückgehen. Wenn einige der allgemeinen Bewegung vorauseilen oder ihr nachhinken, so handelt es sich dabei mit seltenen Ausnahmen nur um wenige Jahre. Nur wenn ein Wechsel in der Periode bevorsteht, wie zurzeit in den Alpen, zeigen sich bedeutendere Unregelmäßigkeiten; dann kann es vorkommen, daß selbst von zwei benachbarten Eisströmen der eine vorrückt und der andere schwindet, wofür sich in den Ostalpen zurzeit mehrere Beispiele finden.

Man sieht also, daß der Überschuß an Firneis viel schneller in die unteren Teile des Gletschers gelangt, als der gewöhnlichen Stromgeschwindigkeit entspricht. Um ein Zahlenbeispiel zu nennen: der Vernagtferner in den Ötztaler Alpen fließt in ruhigen Zeiten nur mit einer Geschwindigkeit von 17 Metern im Jahr, aber 1899, als er stark vorrückte, stieg dieser Betrag auf 280 Meter. Die Ursachen einer solchen Beschleunigung sind wesentlich mechanischer Natur. Wenn sich mehrere Jahre hindurch im Firngebiet ungewöhnlich große Schnee- und Eismassen ansammeln, so üben sie auf die talabwärts gelegenen Gletschergebiete einen verstärkten Druck aus, wodurch die Abflußgeschwindigkeit im ganzen Gletscher erheblich zunimmt. Die rasch abwärts strömenden Eismassen bleiben auf gleich langem Wege kürzere Zeit unter der Einwirkung der Sonne und warmen Luft, verlieren daher durch Schmelzung nicht mehr soviel wie früher; die Dicke des gesamten Gletschers wächst, und infolgedessen wird die Bewegung abermals beschleunigt, so daß die Folge jetzt zur Ursache wird.

Im gleichen Sinne wirkt noch ein anderer Umstand. In kalt-nassen Perioden fällt naturgemäß auch auf die unteren Teile der Gletscher mehr Schnee als gewöhnlich, und die ohnedies in solchen Zeiten geschwächte Sommerwärme braucht erheblich längere Zeit ihn aufzuzehren, kann also die darunter liegende Eisoberfläche erst viel später angreifen. Damit nehmen wieder Dicke und Geschwindigkeit zu usw. Das Endergebnis von alledem ist ein rasches Vorrücken der Zunge, das erheblich früher beginnt, als die ersten verstärkten Firnmassen das Gletscherende erreichen.

Umgekehrt ist der Gang der Ereignisse, wenn während einer Reihe von Jahren die Schneefälle im Firngebiet unter den Durchschnitt sinken. Die Bewegung des Eisstroms muß sich dann fortwährend verlangsamen, die Abschmelzung hat mehr Zeit, an der Aufzehrung des Eises zu arbeiten, der Gletscher schrumpft zusammen, seine Oberfläche sinkt ein, die Zunge geht zurück. Da die Perioden oft nur kurz sind, kann bei langen Gletschern schon von oben eine neue Welle nachrücken, bevor das Spiel ganz abgelaufen ist. Daraus erklärt sich die an großen Gletschern öfters beobachtete Erscheinung, daß sie im Ober- oder Mittellauf anschwellen, während die Zunge im Schwinden begriffen ist.

Man denke jedoch nicht, daß ein derartiges Anschwellen die Folge eines einzigen schneereichen Winters oder kalten, nassen Sommers sein könne. Was sich in so kurzer Zeit mehr an Firneis bildet, geht spurlos in der mächtigen Gletschermasse verloren. Selbst drei oder vier kalt-nasse Jahre hintereinander bleiben oft ohne merkbaren Einfluß auf den Stand der Gletscherzunge. So brachten die achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts eine Vermehrung der atmosphärischen Niederschläge; trotzdem ging in den Alpen die Mehrzahl der Gletscher nach wie vor zurück. Ebensowenig kann ein einzelner heißer Sommer mit trockenem Winter einen größeren Gletschervorstoß aufhalten. Selbst die elfjährige Sonnenfleckenperiode ist zu kurz, um nachhaltige Wirkungen auf den Stand der Gletscher auszuüben, ausgenommen die seltenen Fälle, in denen sie das allgemeine Klima in besonders krasser Weise beeinflußt. Wäre sie in jedem Fall maßgebend, so müßten die Gletscher regelmäßig fünf bis sechs Jahre hindurch wachsen und dann ebensolange schwinden, aber davon ist keine Rede; die Gletscherschwankungen spielen sich, wie wir gleich sehen werden, in weit größeren Perioden ab. Nur wenn die Wirkungen einer längeren Reihe von Jahren sich summieren, raffen sich die Gletscher zu energischen Vorstößen auf, die gelegentlich verheerenden Charakter annehmen und die vorgeschobenen Posten menschlicher Kultur unter gewaltigen Eismassen begraben.

Eine Reihe älterer Nachrichten deutet darauf hin, daß die Alpen und das norwegische Gebirge (aus anderen Gebieten fehlen die Berichte) vor einigen Jahrhunderten in viel geringerem Maße vergletschert waren als heutzu-

tage. Nur im Vorübergehen sei hier der zahlreichen, mit auffälliger Übereinstimmung wiederkehrenden Sagen gedacht, die von der Zerstörung fruchtbarer Alpenweiden und wohlhabender Gebirgsdörfer durch die vorrückenden Eisströme zu berichten wissen. Meist wird die Katastrophe als göttliches Strafgericht aufgefaßt, hervorgerufen durch Gottlosigkeit und frevelhaften Übermut der Bewohner. Namen wie Blümlisalpgletscher und Brenelisgärtli (ein großes Firnfeld am Glärnisch) gehen auf diesen uralten Volksglauben zurück. In den gleichen

Abb. 262. Am Faulhornweg: Blick auf Schreckhornkette und die Fiescherhörner. Rupp phot.

Zusammenhang gehört eine Reihe norwegischer Sagen, nach denen manche Hochgebirgstäler, die jetzt keine Spur fester Wohnsitze mehr aufweisen, in alter Zeit eine wohlgedeihende Bevölkerung besaßen. Die Ansiedelungen sollen nicht gerade den Gletschern zum Opfer gefallen sein, wohl aber hätte das kälter werdende Klima die Täler unbewohnbar gemacht.

Schwierig ist die Frage zu entscheiden, inwieweit die zahlreichen Berichte über Paßvergletscherungen seit dem Mittelalter Glauben verdienen. Diese zum Teil recht sagenhaften Überlieferungen stimmen darin überein, daß noch im 15. oder 16. Jahrhundert ein lebhafter Verkehr über gewisse Pässe stattfand, deren Überschreitung jetzt nur erprobten Gletscherwanderern mit Führern, Seil und Pickel möglich ist. Gepflasterte Saumwege, deren Reste in späteren Rückzugsperioden teilweise wieder zum Vorschein kamen, sollen selbst Prozessionen, Handelskarawanen und Truppenteilen den Übergang mit Leichtigkeit gestattet haben.

Am bekanntesten, aber auch am unwahrscheinlichsten sind die Erzählungen von einem ehemaligen, eisfreien Bergweg zwischen Grindelwald im Berner Oberland und Fiesch im Wallis, also quer über die ungeheuer hohe und steile Gebirgsmauer des Hauptkamms der Berner Alpen. Es wird behauptet, die Protestanten des (überwiegend katholischen) Oberwallis hätten im 16. Jahrhundert diesen Weg benützt, um ihre Kinder nach dem protestantischen Grindelwald zur Taufe zu bringen. An den Enden des Passes, hüben und drüben, hätte je eine der heiligen Petronella geweihte Kapelle gestanden, die samt dem gepflasterten Wege vom Gletscher verschlungen worden sei. Später habe der Gletscher die Kapellenglocke wieder ausgestoßen. Diese Tradition lebt noch heute im Volksmunde

fort, und die berühmte Glocke, ein Werk des 15. Jahrhunderts, wird in Grindelwald den Fremden gezeigt. An der Zerstörung einer nahe dem Gletscher gelegenen Kapelle kann man füglich nicht zweifeln, und auch die ehemalige Existenz eines gemauerten Weges ist wenigstens auf der Walliser Seite bewiesen; Agassiz, der berühmte Pionier der Alpenforschung, versichert, die Reste im Jahre 1839 längs des Aletschgletschers gesehen zu haben. Nur weiß man nicht, wo die Kapelle gestanden hat (möglicherweise ganz unten im Tal) und ob der angebliche Paßweg nicht einem ganz anderen Zweck gedient hat.

Der bekannte Gletscherforscher E. Richter hat die Grindelwalder Überlieferung einer sehr genauen Kritik unterzogen. Er spricht den Erzählungen von der Kapelle und den Wegspuren jegliche Beweiskraft ab und kommt zu dem Schluß: selbst wenn auf beiden Seiten des Kammes alle Eis- und Schneefelder verschwunden wären, was einen ganz unerhörten Klimawechsel zur Voraussetzung hätte, so würde doch die Wildheit des schroffen, zerrissenen Gebirges niemals die Anlage eines leidlich bequemen, für einen regelmäßigen Verkehr geeigneten Weges gestatten. Nur in den höchsten Teilen der Zentralalpen, in der Montblanc- und Monte Rosagruppe, gibt es Gebirgsmauern von gleich furchtbarer Steilheit, in den ganzen Ostalpen aber würde man vergeblich nach etwas Ähnlichem suchen. Heutzutage ist eine 15stündige, ungemein mühsame und gefährliche Gletscherwanderung erforderlich, um den „Paß" zu besiegen; denkt man sich aber auch alle Eisgebilde weg, so bleibt noch eine Klettertour ersten Ranges über Abstürze und Schroffen bestehen, wo die Existenz eines gebahnten Weges zu den Unmöglichkeiten gehört. Einen Teil des Gebirges zwischen Grindelwald und dem Wallis stellt Abb. 262 dar.

Aber die von Agassiz und anderen beobachteten Reste des alten Pflastersteiges? — nun, es wird sich hier um einen Almweg handeln, der zu hoch gelegenen, jetzt vom Gletscher verschütteten Weideplätzen emporführte. Ein starkes Vorrücken beider Grindelwaldgletscher im Jahre 1600 ist historisch überliefert: vor dem oberen mußte man zwei Wohnhäuser und fünf Scheunen abbrechen, deren Platz das Eis alsbald bedeckte. Der untere Gletscher staute die schwarze Lütschine zu einem großen See; wegen der drohenden Gefahr wurden auch hier vier Häuser und zahlreiche Kälter abgerissen; „danach brach das Wasser durch und trug den ganzen Boden weg". Ob damals auch die Petronellenkapelle zerstört wurde, ist unbekannt.

Über ungewöhnliches Wachsen der Eisströme wird um dieselbe Zeit auch in anderen Teilen der Alpen geklagt. Der erste historisch bekannte Ausbruch des Vernagtgletschers erfolgte im Jahr 1600, und aus dem Schnalser Tal wird 1601 berichtet, daß „durch Aufnembung der ferner die gieter und weiden so gar verderbt und verwilt" worden seien. Wenige Jahre früher war der durch seine Eislawinen berüchtigte Giétrozgletscher ins Val de Bagnes (ein Seitenast des Rhônetales) vorgerückt und hatte den vordem viel benutzten Paß über den Col de Fenêtre nach Italien ungangbar gemacht.

Schon diese wenigen, durchaus beglaubigten Nachrichten lassen erkennen, daß dem 1600er Vorstoß eine sehr lange Periode vorausgegangen sein muß, in der die Gletscherenden viel weiter zurückgezogen waren als jemals in einer späteren Zeit. Wenn im Bereich der Gletscherbetten ganze Bauernhöfe mit ausgedehnten Weidegründen bestanden, wenn man eben dort gemauerte Wege hoch ins Gebirge hinauf baute, so beweist das jedenfalls, daß den Menschen jener Zeit gar nicht der Gedanke kam, es könnte dem Gletscher einmal einfallen, das längst aufgegebene Terrain wieder in Besitz zu nehmen. Öfters hat es sich auch im Lauf der beiden letzten Jahrhunderte ereignet, daß vorrückende Gletscher alte Waldungen angriffen, deren Stämme zum Teil ein Alter von zwei- bis dreihundert Jahren besaßen. Ein weiteres, sehr merkwürdiges Beispiel betrifft die Vergletscherung der Gold- und Silberbergwerke in den Hohen Tauern.

Dieser Bergbau ist uralt und wurde vielleicht schon in vorgeschichtlicher Zeit betrieben. Seine Blütezeit fällt ins 15. und 16. Jahrhundert; damals war der kleine Markt Rauris ein reicher, stattlicher Ort und Mittelpunkt eines regen Handelsverkehrs zwischen Nord und Süd. Um 1550 minderten sich die Erträge, weil die Zugänge der höher gelegenen Stollen rasch vergletscherten. Eine Anzahl Gruben mußte aufgegeben werden; Werkstätten und Knappenhäuser fielen der Zerstörung durch den Gletscher anheim, der ihre Trümmer allmählich mit hundert Meter mächtigen Eismassen bedeckte. Im Jahre 1770 wurden einzelne Bauten wieder frei, doch gleich folgte neue Vergletscherung. Erst infolge des starken Gletscherrückganges der letzten Jahrzehnte kam ein

Teil der alten Grubenlöcher wieder zum Vorschein, andere liegen auch jetzt noch unter dem Eise begraben. (Heim.)

Offenbar erfreuten sich also die Alpenländer während der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts eines verhältnismäßig sehr warmen und trockenen Klimas, wie es bis zur Gegenwart nicht wiedergekehrt ist. Einer der allerheißesten Sommer war der des Jahres 1540. Wie Schweizer Chroniken berichten, vertrockneten damals die Flüsse und Bäche, die Weinlese begann bereits im August und war vor Michaelis beendigt; in der Erde bildeten sich durch die Trockenheit so breite Spalten, daß man den Fuß hineinsetzen konnte; viele Eisberge waren gänzlich (!) von Schnee entblößt, so daß bis zur Herbstzeit der nackte Fels auf ihnen zu sehen war. Da auch die vorhergegangenen Sommer, wie sich aus den Terminen der Weinernten ergibt, warm und trocken gewesen waren, so hat man keinen Grund zu bezweifeln, daß damals manche kleinen Gletscher vollständig abgeschmolzen waren.

Wie weit die warme Periode zurückreichte, wissen wir freilich nicht, indessen sprechen manche Umstände dafür, daß während des ganzen Mittelalters in Mittel- und Nordeuropa ein mehr kontinentales Klima herrschte als heutzutage. Der Gegensatz zwischen Kontinental- und Seeklima ist bekannt; ersteres ist durch größere Trockenheit, durch heiße Sommer und kalte Winter ausgezeichnet, während beim Seeklima die Unterschiede der Jahreszeiten nicht so schroff, die Niederschläge aber viel bedeutender sind. Länder mit kontinentalem Klima bilden keinen günstigen Nährboden für die Gletscher, deren Existenz vielmehr an kühle Sommer und reichliche Schneefälle gebunden ist. Der Annahme, es seien die europäischen Hochgebirge während des Mittelalters minder vergletschert gewesen als in der Gegenwart, dürfte man also eine gewisse Berechtigung zuerkennen.

Es ist lohnend, die Geschichte der Gletscherschwankungen von dem außerordentlichen Tiefstande um 1550 bis auf unsere Tage zu verfolgen, weil sie uns ein recht anschauliches Bild von der ruhelosen Veränderlichkeit dieser Naturgebilde liefert.

Um die in tiefster Ebbe schlummernden Gletscher zum energischen Vorgehen zu bringen, mußten zunächst einmal ungeheure Schneefälle die Firnfelder bis zum Überlaufen füllen. In der Tat berichten die Grindelwalder Chroniken, anno 1565 habe der Schnee noch im Mai mannshoch bei den Häusern gelegen und vor Johanni habe man nicht zur Alp fahren können. Vom Jahre 1576 heißt es: Diesen Winter war so viel Schnee, daß man nicht von einem Haus zum anderen und den ganzen Winter niemand aus dem Tale konnte. Die Wirkung blieb nicht lange aus; die Chronik meldet in origineller Ausdrucksweise: 1588 „streckt der Gletscher d'nasä i bodä und drückt ä Hübel mit ämä ghalt weg." Wenige Jahre später nimmt der Vorstoß katastrophenartigen Charakter an, wie oben beschrieben wurde. Auch in den Walliser, Savoier, Glarner und Tiroler Alpen machte sich teils genau zur gleichen Zeit, teils etwas später das Wachstum der Gletscher in verheerender Weise fühlbar.

Man sollte erwarten, daß auf einen so kräftigen Vorstoß auch ein erheblicher Rückgang gefolgt wäre, aber davon ist nichts überliefert. 1620 waren die Grindelwaldgletscher noch sehr groß, und aus den dreißiger Jahren hören wir schon wieder von neuen Katastrophen: von Ausbrüchen verschiedener Seen, die die weit vorgeschobenen Gletscher aufgestaut hatten, und von der Zerstörung des oben genannten Dörfchens Randa durch eine Eislawine, was einen Hochstand des Weißhorngletschers anzeigt. So geht es bis Ende der vierziger Jahre, worauf eine Rückzugsperiode beginnt, über die wir ebenfalls nur sehr ungenügend unterrichtet sind. Auf jeden Fall aber beweist der fast 60 Jahre währende, nur schwach unterbrochene Gletscherhochstand, daß sich das Klima der Alpenländer zu jener Zeit in erheblichem Grade verschlechtert hat.

Neue Vorstoßperioden folgten, ihre Höhepunkte fallen ungefähr in die Jahre 1680, 1715, 1740, 1775. Wie man sieht, wurde der 35jährige Zeitlauf innegehalten. Das Bild ist stets das gleiche: Ausbrüche von Gletscherseen, Eislawinen, Vernichtung von Wald und Weidegründen durch das vorschreitende Eis. Als Kuriosum sei erwähnt, daß die Bewohner von Grindelwald mehrfach versuchten durch Beschwörungen der gefahrdrohenden Ausbreitung des Eises Einhalt zu tun. Wie berichtet wird, hatte dieses Mittel auch gelegentlich Erfolg. Zum letzten Male sollte es im Jahre 1777 probiert werden. Man schickte nach Sarnen, um einen als Teufelsaustreiber berühmten alten Mönch zu zitieren. Dieser erklärte aber, er müsse zunächst wissen, ob die Gletscher durch Gottes Fügung oder durch die Kraft des Teufels so sehr angewachsen seien. Da die Grindel-

wälder hierüber selbst im Unklaren waren, so unterblieb der Zauber. Gläubige Seelen konnten annehmen, daß schon die Androhung der Beschwörung den Gletscherdämon in Schrecken gesetzt habe, denn der Gletscher ging bald zurück, ohne besonderen Schaden angerichtet zu haben.

Das 19. Jahrhundert sah ein zweimaliges gewaltiges Wachstum der Eisströme: 1814 bis 1820 und 1835 bis 1855. Die meisten Gletscher erreichten in einer dieser Perioden ihren höchsten, aus historischer Zeit bekannten Stand. Auffällig ist der verschiedene Charakter der beiden Vorstöße. Der erste verlief sehr energisch und vielfach mit einer Schnelligkeit, die Besorgnis einflößte, aber die Kraft der Bewegung erschöpfte sich bald und es trat Stillstand oder Rückgang ein. Der zweite Vorstoß kam sehr langsam in Fluß und zeigte im ganzen einen trägen Charakter, weil er aber nach so kurzer Pause einsetzte, war das Ergebnis doch ein sehr ansehnlicher Hochstand. Viele Gletscher hatten in der Zwischenzeit kaum abgenommen, für sie ist die ganze Zeit von 1815 bis 1860 eine Periode fast ununterbrochenen Hochstandes. Dann begann, erst sehr allmählich, später mit wachsender Geschwindigkeit, die große Rückzugsperiode, in der sich die meisten Gletscher Europas noch heute befinden. Man sieht, den Schwankungen des 19. Jahrhunderts fehlt durchaus eine klare Gesetzmäßigkeit. Im Anfang 2 Vorstöße innerhalb 20 Jahren, dann 50 Jahre lang gar keiner! Letzteres ist allerdings nicht buchstäblich zu nehmen. Um 1880 war ein neuer Vorstoß fällig, und eine kleine Anzahl Gletscher machte auch wirklich einen Versuch in dieser Richtung, aber die Bewegung erlahmte rasch und schlug bald wieder ins Gegenteil um. Die große Mehrzahl der Gletscher hatte überhaupt nicht mitgemacht, sondern war nach wie vor zurückgewichen.

Abb. 263. Ein Gletschertor im Suldental, Ortlergebiet.

Die Erklärung dieser Unregelmäßigkeiten ist zum Teil in der wechselnden Intensität der Klimaschwankungen zu finden. Oft sind die Gegensätze zwischen den kühlfeuchten und den warm-trockenen Perioden so geringfügig, daß die Gletscher davon überhaupt nicht berührt werden. Zu einem größeren Vorstoß gehört ein Zusammentreffen mannigfacher Umstände, die ihn begünstigen, — vor allem müssen sich binnen wenigen Jahren außerordentlich große Schneemassen in den Firnfeldern anhäufen. Dies ist aber manchmal nur in einem kleinen Teile des Gebirges der Fall, und dann

kommt auch nur eine Minderzahl der Gletscher ins Wachsen. Auf den Mangel genügender Schneezufuhr wird man ferner die auffällige Erscheinung zurückführen, daß manche zu kolossalem Wachstum neigende Gletscher z. B. der vielgenannte Vernagtgletscher, sich in gewissen Perioden mit einem ganz kümmerlichen Vorstoß begnügen. Einen klaren Einblick in alle diese Verhältnisse haben wir heutzutage noch nicht. Man hat die Gletscher oft mit lebenden Wesen verglichen, deren jedes seine eigene Veranlagung besitzt, daher auf äußere Einflüsse auch ganz verschieden reagiert. Die moderne Gletscherforschung sieht eine ihrer Hauptaufgaben darin, die Eigenart des einzelnen Gletscherindividuums zu ergründen.

Achter Abschnitt.

Der Wind als geologische Kraft.

Erstes Kapitel. Die Deflation.

Die Rolle des Windes bei der Umformung der Erdoberfläche hat erst spät die verdiente Beachtung gefunden. Zu einer Zeit, als über die geologische Bedeutung des Wassers und der Gletscher schon dicke Bücher geschrieben waren, wußte man vom Winde weiter nichts, als daß er am Meeresstrand den Flugsand zu Dünen zusammenweht und diese oft landeinwärts vor sich hertreibt. Warum die Erkenntnis so langsame Fortschritte machte, ist leicht erklärt. Wo Wasser (oder Eis) und Wind sich in ihren Wirkungen begegnen, einerlei ob sie abtragen oder auflagern, pflegt die Tätigkeit des Wassers sich weitaus kräftiger zu äußern, so daß die Spuren der Windwirkung in der Regel ganz unkenntlich sind. Feuchte Klimate, wie sie allen Kulturländern eigen sind, bieten daher zum Studium der Windwirkung wenig Gelegenheit; erst als sehr trockene Landstriche, Steppen und Wüsten, der wissenschaftlichen Beobachtung erschlossen wurden, lernte man den weitreichenden Einfluß der Winde auf die Bodenbeschaffenheit solcher Gegenden verstehen, ja manche hierher gehörende Erscheinungen ließen sich nun auch in unseren Breiten nachweisen.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß starker, andauernd wehender Wind das Höhenwachstum der Bäume und Sträucher verhindert. Im Gebirge liegt die Höhengrenze der Wälder oft niedriger, als den klimatischen Verhältnissen entspricht, weil die Kraft der Stürme nur niedriges Gestrüpp, Föhren- und Erlenkrummholz, Wacholder, Alpenrosen und Heidekraut duldet. Besonders auf weiten ungeschützten Hochflächen, auf einsam ragenden Gipfeln ist dies der Fall, selbst wenn sie sich nur wenig über tausend Meter Meereshöhe erheben (Beispiel: der Brocken im Harz). Dort kann man ganz abenteuerlich aussehende, vom Sturm zerzauste und verdrückte Baumgestalten in geringer Höhe über der Grenze des zusammenhängenden Fichtenwaldes beobachten. Allerdings trägt zur Verkrüppelung der Bäume auch die schwere, 6—8 Monate währende Schneelast bei.

Noch deutlicher zeigt sich an den Küsten stürmischer Meere, wie der Wind die Entwicklung der Vegetation niederhält. Auf kleinen, der vollen Wucht der Stürme preisgegebenen Inseln gedeihen selbst Sträucher nur im Schutz hoher Felswände, im übrigen kommen lediglich ganz niedrige, am Boden kriechende Pflanzen fort. Wo trotz allem die menschliche Kultur Fuß gefaßt hat, war es oft nötig, die Grundstücke durch hohe Mauern vor der Wut der rasenden Orkane zu schützen. So hoch die Mauern reichen, wachsen die Bäume, aber an der oberen Kante sind ihre Kronen wie mit einem Messer abgeschnitten.

An allen Stellen, wo Pflanzenwuchs gänzlich fehlt, greift der Wind den Boden selbst an, indem er das lockere Erdreich, den feinen, abgewitterten Staub und Sand emporwirbelt und fortträgt. Man bezeichnet diese Tätigkeit als Deflation (d. h. Wegblasen). Jedermann kennt, wenigstens vom Hörensagen, die Staub- und Sandstürme der Wüsten; sie bilden nicht nur den Schrecken der Wüstenreisenden, sondern machen sich oft noch in bedeutender Entfernung von ihrem Ursprungsort sehr unangenehm bemerklich. Die ungeheuren Massen des bei solcher Gelegenheit aufgewirbelten Staubes lassen sich nicht einmal annähernd schätzen. Auf weiten Gebieten Innerasiens ist der Boden meterdick von Staubschichten bedeckt, die im Lauf der Jahrtausende dorthin geweht wurden. Wie die Reisenden berichten, ist in jenen Ländern selbst bei vollkommener Windstille die Luft oft mehrere Tage lang gelb und undurchsichtig, ja es kann vorkommen, daß man in den Häusern mittags Licht anzünden muß, um selbst großgedruckte Schrift lesen zu können.

In Vorderasien und Nordafrika hat der Staub in der Regel eine rötliche Färbung. Duthieul schildert einen Staubwind, den er im Mai 1857 in Bagdad erlebte. Der Himmel war rot gefärbt, wie bei einer Feuersbrunst, die Sonne zeigte einen matten, dem Mondlicht vergleichbaren Glanz. Der Sturm

erfüllte die ganze Atmosphäre gleichmäßig mit ziegelrotem Staub, der so fein war, daß er bei geschlossenen Fenstern in die Zimmer drang. 300 Kilometer südlich von Bagdad tobte derselbe Staubwind gleichzeitig mit solcher Heftigkeit, daß europäische Reisende 4 Stunden lang, das Gesicht auf der Erde, liegen bleiben mußten.

Manchmal verbreiten sich die aufgewirbelten Staubmassen über Gebiete von riesiger Ausdehnung. Auf dem Atlantischen Ozean zeigen sich öfters in bedeutender Entfernung von der Küste Staubnebel, die nur aus dem heißen, trockenen Afrika dorthin geweht sein können. Ein sehr merkwürdiger Staubfall ging vom 9.—12. März 1901 über Europa nieder. Der Ausgangspunkt lag in der Wüste Sahara, in der Gegend um Biskra, wo am Vormittag des 9. März dichter Wüstenstaub die Luft erfüllte. Noch am Abend desselben Tages trieb ein heftiger, trockener Scirocco dicke, rotgelbe Wolken über Tunis hin, am folgenden Morgen erreichte der Staubfall Sizilien, am Mittag Neapel, am späten Abend die Lombardei und Istrien. In den Alpenländern fiel der Staub bei Regen, Schnee oder Hagel unter heftigem Gewitter in der Nacht vom 10. auf den 11. März. Am Morgen des dritten Tages machte sich der Staubregen im Thüringer Walde bemerklich, am Mittag an der Ostseeküste; in Bremen und Hamburg fiel am Spätabend und in der Nacht rötlicher Schnee. Merkwürdigerweise blieben einzelne dazwischen liegende Gebiete, namentlich in Süddeutschland, völlig unberührt. Die nördlichsten Punkte, wo noch Staubfall beobachtet wurde, liegen auf den dänischen Inseln, also fast 3000 Kilometer vom Ursprungsorte! Man hat vielerorts Staubproben gesammelt und untersucht; sie erwiesen sich überall als echter Wüstensand, dem vulkanische Bestandteile durchaus fehlten.

Daß auch vulkanische Asche auf ungeheure Entfernungen verweht werden kann, haben wir bei Besprechung der Krakatau-Katastrophe gesehen. Von Vesuvausbrüchen herrührende Asche ist des öfteren in nordeuropäischen Ländern zu Boden gefallen.

Der Transport der Staub- und Sandmassen bildet nur die eine Seite der äolischen Tätigkeit, mindestens ebenso wichtig ist die andere, die Erosion des anstehenden Felsens durch den Anprall des Windes. Die aufgewirbelten Sandkörner schleudert der Wind wie Geschosse gegen jedes ihm entgegenstehende Hindernis, dadurch werden unaufhörlich winzige Teilchen abgerissen, die der Luftstrom sogleich weiterträgt. Wo die Sonnenstrahlung (Insolation) oder der Spaltenfrost den Fels gelockert und zerrissen hat, vermag der Winddruck auch größere Bruchstücke loszureißen. So erklärt es sich, daß in felsigen Wüsten der Boden oft ganz und gar mit großen Steinsplittern bedeckt ist. Auf Gesteinen, die aus ungleich harten Mineralien oder aus verschiedenartigen Schichten zusammengesetzt sind, erzeugt die Winderosion sehr charakteristische Skulpturen. Die Oberfläche von Granitfelsen bekommt ein blatternarbiges Aussehen, weil die weichen Feldspäte stärker abgefeilt werden als die harten Quarzkörner, also Vertiefungen bilden, zwischen denen die Quarze hervorragen.

In fossilführenden Felsarten bestehen die Versteinerungen oft aus härterem Stoff als die übrige Gesteinsmasse. Diese fällt viel rascher der Zerstörung durch Winderosion anheim, so

Abb. 264. Vom Wind erodierter Felsen bei den Pyramiden von Gise.

daß die Schalen und Skelette herausmodelliert werden und nach Art eines Hochreliefs die Oberfläche der Schicht bedecken. Beim Nummulitenkalk z. B. sitzen die Gehäuse öfters auf zentimeterhohen Stielen.

Wo bedeutende Härteunterschiede fehlen, schleift der Wind die Oberfläche der Felsen manchmal vollkommen glatt und verleiht ihr einen firnisartigen Glanz, dem man die treffende Bezeichnung „Wüstenlack" gegeben hat. Derartige Windschliffe können nach Umständen leicht mit Gletscherschliffen verwechselt werden, doch bringt der feine über die Felsfläche gewehte Sand niemals so tiefe Kritzen und Schrammen hervor, wie sie die Geschiebe der unter starkem Druck fortbewegten Grundmoräne auf dem Gletscherboden erzeugen. Zu den bekanntesten Wirkungen des Sandschliffs gehören die Facetten- oder Kantengeschiebe: einzeln vorkommende Steine, die wie rohgemeißelte Vielflächner aussehen (Abb. 265). Man nennt sie auch Dreikanter, weil oft gerade drei, von scharfen Kanten begrenzte Flächen ausgebildet sind. Ihre Entstehung hat man sich nach J. Walther folgendermaßen zu denken. Bei stärkerem Wind fließt der Sand in kleinen, voneinander getrennten Strömen über den Boden fort. Trifft nun solch ein Sandgerinne auf ein Hindernis, z. B. einen im Wege liegenden Stein, so teilt er sich in zwei Arme, die sich dahinter wieder vereinigen. Der vorbeitreibende Sand schleift dem Stein auf beiden Seiten Facetten an, die zuerst sehr klein sind, sich aber allmählich vergrößern und schließlich zusammenstoßen, wodurch eine scharfe Kante entsteht. Eine dritte Fläche bildet sich auf der Stoßseite, weitere können bei anders gerichtetem Winde hinzukommen, indessen bleiben bei häufigem Wechsel des Windes die Flächen klein und undeutlich.

Abb. 265. Dreikanter. Norddeutsche Tiefebene. (Nach Coula.)

Kantengerölle sind außer in Steppen und Wüsten auch in allen Dünengebieten verbreitet. Wer Glück hat, findet sie auf den Dünenwällen der deutschen Nordseeinseln, häufiger noch kommen sie in den ausgedehnten Sandebenen des norddeutschen Diluviums vor. Die verschiedensten, vom nordischen Eis hergeschafften Felsarten, Granit, Porphyr, Sandstein, Kalk usw., hat der Wind in übereinstimmender Weise zu Drei- und Mehrkantern zurecht geschliffen.

Die außerordentlichen Wirkungen der Deflation auf die Bodengestaltung lassen sich nur in Wüstenländern beobachten, weil hier die Vegetation fehlt, die in feuchten Klimaten den Erdboden vor den Angriffen des Windes schützt. Wo die Deflation unumschränkt herrscht, kann sie im Lauf der Jahrtausende den Charakter einer Landschaft von Grund aus umgestalten, z. B. aus einem flachen Tafelland Berge und Täler herausmodellieren oder umgekehrt in einer bergigen Gegend alle Vertiefungen ausfüllen und die Umrisse der Höhenzüge verwischen. Diese gewaltige Arbeitskraft des Windes beruht hauptsächlich auf dem Umstand, daß er die losgerissenen Stäubchen sofort weiterträgt, also immer neue Flächen bloßlegt, gegen die er seinen Angriff richten kann. Im einfachsten Falle wird dadurch eine ganze Wüstenfläche gleichmäßig erniedrigt und abgetragen, namentlich wenn der Untergrund aus wagerecht liegenden Schichten besteht. Bei den meisten Schichtgesteinen wechseln härtere und weichere Lagen miteinander ab, dann tritt jedesmal, wenn eine weiche Schicht abgeblasen ist und die darunterliegende harte zum Vorschein kommt, ein vorübergehender Stillstand der Deflation ein. Die Widerstandsfähigkeit des harten Gesteins muß erst durch physikalische Verwitterung gebrochen werden, bis der Wind sich der Trümmer bemächtigen und sie in Staub zerblasen forttragen kann.

Abb. 266. Zeugenlandschaft bei Guelb-en-Zerzour.

In der Regel aber findet keine so gleichmäßige Abtragung statt. An günstigen Stellen gräbt der Wind tiefe Mulden, breite wannenförmige Senken, ja selbst Täler und Schluchten aus, zwischen denen einzelne Reste des zerstörten Tafellandes als einsame Pfeiler noch eine Zeitlang stehen bleiben. Dahin gehören die merkwürdigen Inselberge der Sahara, in arabischer Sprache Zeugen genannt. Wie Abb. 266 zeigt, haben sie die Ge-

stalt breit abgestumpfter Pyramiden oder Kegel, die Böschungen sind steil, die Gipfelfläche vollkommen horizontal und eben. Wie Vorposten stehen sie vor dem benachbarten, ausgedehnten Tafelland, mit dem sie in Schichtenbau und

Abb. 267. Zerfressener Sandsteinfels.

Höhe gänzlich übereinstimmen, was klar beweist, daß sie erst nachträglich, und zwar durch Erosion, von dem Plateau abgetrennt wurden. Jeder „Zeuge" trägt auf seinem Gipfel eine Kuppe aus härterem Gestein, die ihn bis jetzt vor der Zerstörung durch Deflation geschützt hat.

Die seltsamsten und phantastischsten Formen bringt die Winderosion in der Felsenwüste zuwege. In welchem Maße die Bodengestaltung vom Klima abhängig ist, zeigt sich so recht am Beispiel eines granitischen Bergzuges. Wie wir früher sahen, bilden die Granitmassive unserer Mittelgebirge breite, domförmige Erhebungen, abgerundete Kuppen und Rücken; nur wo Verwitterung und Erosion ein besonders günstiges Arbeitsfeld finden, zeichnen sich gelegentlich die Felsen durch absonderliche Formen aus (S. 149). Ganz anders in der Wüste, wo die Granitberge, obschon selten höher als 2000 Meter, ein so wildes und zerrissenes Aussehen zeigen wie in den höchsten, über die Firnregion aufragenden Teilen der Alpen. Steile, nackte Felshänge, besetzt mit Nischen, deren Anblick an Kare erinnert, darüber zerrissene Schroffen, zackige Spitzen, trotzig emporgewachsene Säulen und Türme — das ist, in stets wechselnder Gestalt, das Erscheinungsbild kristallinischer Felsberge in der Wüste.

Bei der Seltenheit der Niederschläge kommt als zersprengende und lockernde Kraft nur die Sonnenstrahlung bzw. der jähe Temperaturwechsel an der Grenze von Tag und Nacht in Betracht; die Ausarbeitung der Formen übernimmt dann der Wind, indem er aus allen Lücken und Spalten den feinen Schutt herausbläst, wodurch das ganze Felsmassiv ein ruinenhaftes Aussehen bekommt.

Man glaubt, auch in unseren Gegenden ähnliche Spuren der Windwirkung gefunden zu haben. Frei aufragende Sandsteinfelsen zeigen an ihren senkrechten Wänden oft ganze Reihen kleiner, schalenförmiger Vertiefungen oder tief ins Gestein hineinreichender Löcher; da man sich nun schwer vorstellen kann, sie seien durch physikalische Verwitterung oder durch Wassererosion entstanden, so macht man den Wind dafür verantwortlich. Bisweilen weiten sich diese Löcher zu förmlichen Höhlen aus, die in einem bestimmten, wohl aus weicherem Material bestehenden Stockwerk des Felsens dicht nebeneinander liegen und nur durch schmale Pfeiler getrennt sind. In anderen Fällen ist die ganze Oberfläche der Felswand übersät von unregelmäßigen Vertiefungen, so daß sie ein zerfressenes, einem Schwammgewebe ähnliches Aussehen zeigt (Abb. 267). Alle diese Erscheinungen lassen sich besonders schön am Quadersandstein der Sächsischen Schweiz beobachten, doch wird man auch im

Abb. 268. Die Pilzfelsen des Monument-Park in Kolorado.

Abb. 269. Sandwüste. Südlich Biskra.

Buntsandsteingebiet selten vergeblich danach suchen. Für ein Erosionsprodukt des Windes halten viele Geologen auch die merkwürdigen Pilzfelsen (Abb. 268).

In unseren Breiten liegt das eigentliche Herrschergebiet der Winde auf den vegetationslosen Kämmen und Gipfeln des Hochgebirges. Die Luftströme besitzen in diesen hohen Regionen viel stärkere Gewalt als nahe am Boden, wo alle möglichen Hindernisse sie abschwächen und verteilen. Dort oben müssen die Felsen ihre abschreckende Nacktheit bewahren, weil jede Kleinigkeit neugebildeten Schuttes sehr bald in alle Winde verweht wird. Wo die Menschen so töricht waren, ganze Waldgebirge abzuholzen, wie auf dem Plateau des Karstes und auf den Kalkgebirgen der Provence, die im Mittelalter Bauholz für die venezianischen und französischen Flotten lieferten, da begegnet die neuerdings versuchte Aufforstung den größten Schwierigkeiten, denn im Lauf der seitdem verstrichenen Jahrhunderte haben die heftigen Winde jener Gegenden, Bora und Mistral, die lockere Walderde fortgeblasen, so daß fast überall der kahle Felsuntergrund zutage tritt.

Wie wir sahen, bildet der Granit in den höchsten Gebirgsregionen ganz ähnliche Zacken, Nadeln und wild zerrissene Steilhänge wie in der Wüste. Zweifellos ist der Ausbau dieser Felsenwildnis zum großen Teil ein Werk des Windes, aber in unserem Klima arbeiten neben der Deflation noch mancherlei andere Kräfte (Spaltenfrost, Gletscher, Regen, Schmelzwasser) an der Zerstörung des Hochgebirges, und es ist ganz unmöglich, ihre Wirkungen von denen des Windes abzugrenzen.

Zweites Kapitel. Äolische Ablagerungen.

Wenden wir uns nun der positiven Seite der Windarbeit zu! Die Unmassen abgeblasenen Staubes müssen irgendwo wieder zum Absatz kommen, und wirklich finden wir sie unter günstigen Verhältnissen zu Ablagerungen von bedeutender Mächtigkeit angehäuft. Dahin gehören z. B. die meisten Sandwüsten. Früher glaubte man allgemein, eine Sandwüste sei der trocken gelegte Boden eines flachen Meeres, dann kam die Hypothese auf, der Wind habe den Dünensand vom Meere her immer weiter landeinwärts getrieben und allmählich das ganze Hinterland weit und breit verschüttet. Kleinere Sandwüsten können in der Tat auf

solche Weise entstehen, wofür die deutsche Ostseeküste ein Beispiel liefert (vgl. unten), aber für die bekannteste aller Wüsten, die Sahara, trifft die Erklärung schon aus dem Grunde nicht zu, weil die hier herrschenden Winde, die Passate, westwärts wehen, also vom Inneren des Landes nach dem Atlantischen Ozean, nicht etwa umgekehrt. Die Sanddecke der großen Wüsten stammt von Gebirgen, die weiter landeinwärts, im Rücken des Windes, liegen; es ist vom Wind zerkleinerter und aufbereiteter Felsschutt.

Nur kleine Gebiete der Sandwüste sind vollkommen eben, im übrigen trägt sie den Charakter eines welligen Landes, dessen aus Sand aufgebaute Hügelzüge — die Dünenketten — wiederum dem Wind ihre Entstehung verdanken. Die Dünen sind unsymmetrisch gebaut: ihre dem herrschenden Winde zugekehrte „Luvseite" steigt mit sanfter Böschung an, während die entgegengesetzte die „Leeseite", einen steilen Abhang besitzt. Diese Gestalt bringt uns die von Gletschern abgeschliffenen Rundbuckel in Erinnerung (S. 295).

Was nun die Dünen der Sahara betrifft, so gleichen sie manchmal wahren Gebirgen, erreichen 100, ja 200 Meter Höhe und bilden endlose Kammreihen, die fast überall in gleicher Richtung (senkrecht zu der des Windes) viele Kilometer weit fortstreichen. Zwischen den einzelnen Kämmen verlaufen langgestreckte Täler, oder es schieben sich kleine Ebenen ein, an deren Boden oft der felsige Untergrund zum Vorschein kommt. Jeder heftige Sturm bewegt den Sand aufs neue, verändert die Gestalt der Kämme, schüttet Vertiefungen zu und bläst über vormals flachen Stellen neue Hügelreihen zusammen. Indessen gibt es in manchen Teilen der Wüste auch Dünen, deren Oberfläche zu einer Art Sandstein verhärtet ist; solche Dünen sind schwer beweglich und setzen jeder Formveränderung durch den Wind einen gewissen Widerstand entgegen.

Neben den geradlinigen Ketten bilden die Sichel- oder Bogendünen einen wichtigen Zug im Landschaftsbilde der Steppen und Wüsten (Abb. 270). Es sind Wälle von Hufeisenform, die ihre konvexe, sanft abgedachte Außenseite dem Winde zukehren; im Innern der Krümmung liegt ein tiefer Kessel mit steilen Wandungen. In den chilenischen Pampas und den Steppen von Turkestan sollen mächtige Sicheldünen zu Tausenden die Ebene bedecken. Sie bewegen sich bei Stürmen ungemein rasch vorwärts; so wurde einst über Nacht eine Militärstraße in Turkestan auf eine Länge von 25 Metern von einer 8 Meter hohen Sandschicht verschüttet.

Außerhalb der Wüsten- und Steppenregion

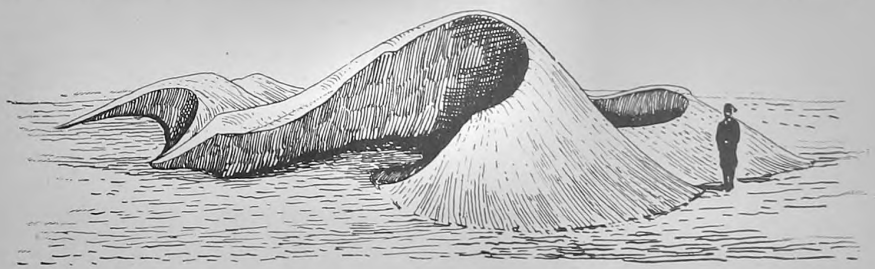


Abb. 270. Sicheldüne (Barchan) in der turkestanischen Steppe.

gelangt die Dünenwelt nur an flachen Meeresküsten zu mächtiger Entwicklung. In beschränkter Ausdehnung trifft man Dünenwälle auch mitten im Binnenland, in Gegenden, die alles eher denn Wüsten sind. Die Dresdener Haide bildet für die Bewohner der sächsischen Residenz eins der beliebtesten Ausflugsziele, eine stundenweit ausgedehnte, von prächtigen Waldungen bedeckte Hochebene mit zahlreichen hübschen Ausblicken auf das reich bebaute Elbtal und die gegenüber liegenden Bergzüge. Wo aber der Wald fehlt, kommt die Dünenlandschaft zu ihrem Recht. Jeder heftige Wind treibt den leicht beweglichen Haidesand über den Boden hin und häuft ihn allmählich zu langgestreckten Hügelzügen auf. Einzelne dieser Dünenwälle wachsen bis zu 20 Meter Höhe empor; das sind zwerghafte Bildungen im Vergleich mit den Sandgebirgen der Sahara, aber in der Dresdener „Wüste" können sie sich schon sehen lassen. Die weiter unten besprochenen Erscheinungen der Wellenfurchung und „diagonalen Schichtung" sind an ihnen gut zu beobachten. Auch die Dresdener

Dünen „wandern" und haben stellenweise alten Wald zerstört, wie die in ihnen eingeschlossenen aufrechten Stämme zeigen. Wo sich in ihrem Bereich der Pflanzenwuchs noch hält, sind Bäume und Sträucher verkrüppelt und dienen vielfach als Ansatzpunkte für die Entstehung neuer Sandwälle (vgl. unten).

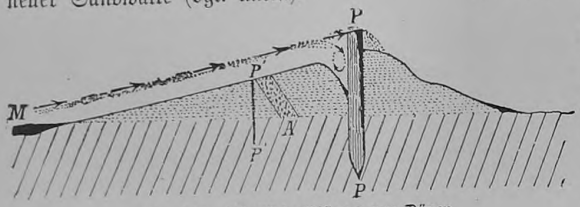


Abb. 271. Künstliche Bildung von Dünen.

Auch mitten in sehr fruchtbaren Gegenden, z. B. in der Rheinebene bei Mannheim und Schwetzingen, kommen vereinzelte Dünenketten vor.

Für die großen Sandwüsten haben wir oben den Gedanken zurückgewiesen, sie seien aus Seesand hervorgegangen, den der Wind aufs Land geweht habe. Wohl aber müssen wir uns so die Entstehung der meisten Stranddünen denken. Zur Flutzeit führt jede Brandungswelle Sandkörner mit sich und setzt sie als dünnen Streifen auf der Strandböschung ab. Kommt nun die Ebbe, so trocknet der Sand und wird ein Spiel des über die Meeresfläche brausenden Windes. Die Körnchen rollen zunächst auf dem Boden fort, dann beschleunigt sich ihre Bewegung, sie beginnen zu hüpfen und machen immer größere Sprünge; bald berühren die feinsten Teilchen den Boden überhaupt nicht mehr, sondern fliegen mit dem Winde landeinwärts. Die Sandwolke senkt sich nieder, wenn sie an eine windgeschützte Stelle oder vor einen hohen Abhang gelangt, den sie nicht überfliegen kann. Die gröberen Körner stoßen schon viel früher gegen ein Hindernis, vor dem sie liegen bleiben; selbst kleine Steine oder ein paar Grashalme genügen, um sie aufzuhalten. Solche in der Flugbahn des Sandes befindlichen Körper geben Veranlassung zur Dünenbildung.

Wie dies geschieht, mag der Leser aus Abb. 271 entnehmen. Als Hindernis ist hier ein in den Boden geschlagener Pfahl (PP) gedacht, die Windrichtung ist durch Pfeile angegeben. Ein Teil des bewegten Sandes bleibt vor dem Pfahle liegen und häuft sich zu einem sanft ansteigenden Hügel an, ein anderer Teil überfliegt die Spitze des Pfahls; da aber auf der Rückseite der Wind geschwächt ist, so fallen die Körner sofort zu Boden und bilden einen steilen Abhang. Vor dem Pfahl entstehen durch Rückprall des Windes kleine Luftwirbel, die zunächst eine Vertiefung aushöhlen; diese wird aber vom anwachsenden Sande allmählich ausgefüllt. Den etwas früher eingeschlagenen Pfahl P'P' hat der Sand schon gänzlich verschüttet und fest in die entstandene Düne eingeschlossen, dem zweiten steht dasselbe Schicksal nahe bevor.

Durch Eintreiben mehrerer paralleler Pfahlreihen läßt sich die Bildung langgestreckter Dünenwälle künstlich herbeiführen. Man wendet dies Mittel in besiedelten Küstenstrichen häufig an, um das Hinterland der Dünen vor Sturmfluten zu schützen.

In der Natur übernimmt gewöhnlich eine Strandpflanze die Rolle des Pfahls. An der Nordsee ist es fast immer der sogenannte Strandweizen (Triticum junceum), der die Dünenbildung einleitet. Dabei geht es, wie wir dem vortrefflichen „Dünenbuch" Solgers entnehmen, folgendermaßen zu. Der Same des

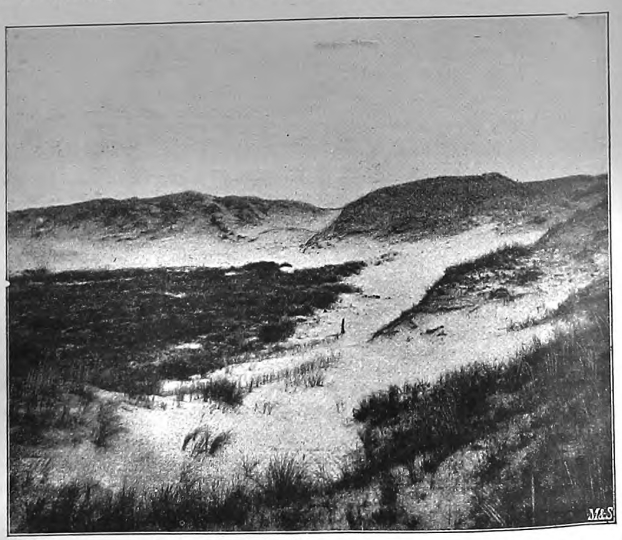


Abb. 272. Endigung einer „Sicheldüne". Dünengelände bei Gr. Rowe östlich von Stolpmünde.

Strandweizens keimt nur auf feuchten, salzgetränkten Sandflächen. Zunächst streckt sich ein einzelnes Hälmchen aus dem Boden, das von unterirdischen Ausläufern aus weitere Sprossen entsendet, so daß sich allmählich ein kleiner, lockerer Horst bildet, in dem sich der Flugsand fängt und anhäuft. Die Pflanze würde bald überschüttet sein, wenn sie nicht ein kräftiges Wachstum besäße, das sie befähigt, immer neuen Sand mit den Halmen aufzufangen. So können, von den unterirdischen Stengelorganen des Strandweizens durchzogen, mehrere Meter hohe Dünen entstehen.

Schließlich tritt in der Entwicklung des Strandweizens eine Stockung ein, weil die Düne mit zunehmender Höhe immer salzärmer wird und der salzliebenden Pflanze keinen günstigen Nährboden mehr bietet. Die Folge ist, daß der Wind ebensoviel Sand, wie er zeitweise zwischen den Halmen ablagert, zu anderen Zeiten wieder fortbläst. Auf den Strandweizendünen siedelt sich nun aber ein neues Gras an, der Strandhafer oder Helm und der Strandroggen, welcher sich durch unterirdische Ausläufer sehr rasch ausbreitet. Der Helm verträgt schlechter Salzwasser als der Strandweizen, braucht aber weniger Feuchtigkeit. Da seine Halme höher und dichter stehen, so wächst die Helmdüne weit schneller als vorher die Triticumdüne. In einem noch späteren Stadium siedelt sich Heidekraut an, und es entstehen Heidedünen.

In unserem Weltteil liegen die bedeutendsten Dünengebiete an den Küsten der Nord- und Ostsee sowie am Golf von Vizcaya. Überall handelt es sich hier um Dünen, die im eigentlichen Sinne dem Schoß des Meeres entstiegen sind und das Streben zeigen, landeinwärts zu wandern, wobei sie oft verheerend über bebautes oder bewaldetes Land hinwegschreiten. Gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse an der Nordwestküste Afrikas, dort, wo die Sandwüste der Sahara am Atlantischen Ozean ihre Grenze findet. Der fast das ganze Jahr hindurch wehende Nordostpassat treibt die Sandberge aus dem Innern des Kontinentes an die Küste und schließlich ins Meer hinein; hier bemächtigen sich die Wellen des leicht beweglichen Materials und formen daraus ein Labyrinth von Sandbänken, das für die Schiffahrt an jenen Küsten eine schwere Gefahr bedeutet. In ähnlicher Weise mit Sandbänken gepanzert ist der Westrand der jütischen Halbinsel, seit alters seiner Unnahbarkeit wegen die „eiserne" Küste genannt; aber hier handelt es sich nicht um ins Meer gewehte Sandmassen, vielmehr ist eine flache, sandige Strandgegend durch Senkung unter den Meeresspiegel geraten.

Das Wandern der Dünen kommt auf folgende Weise zustande. Wir erinnern uns, daß die dem Winde zugekehrte Seite eine ziemlich flache Böschung besitzt; hier bläst der Wind

Abb. 273. Große Wanderdüne auf der kurischen Nehrung.

den Sand unablässig fort und trägt ihn nach dem Dünenkamm hinauf, von wo er über den jenseitigen Steilhang in die Tiefe fällt. Dadurch muß die Düne vorrücken; die Sandmassen, die zuerst den Steilhang bildeten, werden allmählich zugedeckt und kommen in die Mitte, bei weiterem Vorschreiten ans hintere Ende der Düne zu liegen; hier erfaßt sie wieder der Wind, treibt sie nach dem Kamm hinauf usw. Auf diese Weise kann sich der Sandberg 10—20 Meter im Jahr vorwärts bewegen, keine Mauer, kein Wald vermag ihn aufzuhalten, ja selbst Sümpfe und kleine Seen füllt er aus und schreitet über sie hinweg.

Vorbedingung des Wanderns ist immer, daß die Dünen von Pflanzenwuchs entblößt sind. In manchen Gegenden, wo man so unvorsichtig war, ältere, von Kiefernwald bestandene Dünenwälle abzuholzen oder ihnen

die schützende Rasendecke zu nehmen, hat man damit den Sand von den Fesseln befreit, an die er Jahrtausende lang gekettet war. Unaufhaltsam schreiten die weißen, rieselnden Massen vorwärts, verschütten ganze Dörfer samt Äckern und Weiden, ersticken die Wälder und zwingen die Bevölkerung des heimgesuchten Landes, sich anderswo besser geschützte Wohnsitze zu suchen. In besonders schlimmem Maße hatten während der letzten 200 Jahre die Bewohner der pommerschen und preußischen Nehrungen, jener schmalen, der Küste vorgelagerten Halbinseln, unter den Verheerungen des Wandersandes zu leiden.

Die dortigen Sandberge bewegen sich, entsprechend der herrschenden Windrichtung, von Westen nach Osten. Wie schwerfällige Ungetüme

Abb. 274. Kurische Nehrung.
Ausgewehter Wald bei Schwarzort.

kriechen sie dahin, breite Spuren hinter sich zurücklassend, in deren Bereich alles Leben vertilgt ist. Diese „Wanderbahnen" werden vom Wind glatt ausgeblasen, so daß sie talartige Furchen mit vollkommen ebenen Boden bilden. Ihr Verlauf läßt sich noch nach Jahrhunderten deutlich erkennen; die älteren Teile hat der Pflanzenwuchs allmählich wieder erobert, aber die erst kürzlich von der Düne verlassene Strecke ist absolut kahl und öde. Nur in feuchten Jahren, wenn das Grundwasser steigt, entstehen am Grunde der Wanderbahnen langgestreckte, flache Teiche, in denen sich Wasserpflanzen und Schlammschnecken ansiedeln, auch Scharen von Wasservögeln beleben dann die Einsamkeit des Dünentals, aber in heißen Sommern trocknen die Teiche wieder aus und werden von neu heranrückenden Flugsandmassen verschüttet.

Anderer Entstehung sind die zahllosen Dünenseen, Etangs genannt, an der gascognischen Küste. Hier haben die Westwinde den Sand in einiger Entfernung vom Strande zu Wällen angehäuft, wodurch kleine Teile des Meeres abgedämmt und in salzige Binnenseen oder Salzsümpfe verwandelt wurden. Die Wälle verhinderten zugleich den Abfluß der Binnengewässer, so daß alle tiefer gelegenen Stellen allmählich versumpften. Da die Etangs ihrer giftigen Ausdünstungen wegen in hohem Grade gesundheitsgefährlich sind, hat man neuerdings ihre Austrocknung sowie die Festlegung der Dünen energisch in Angriff genommen.

Schreitet die Düne über einen Wald hinweg, so tötet sie ihn, vermag ihn aber nicht gänzlich zu zerstören; die abgestorbenen, meist durch und durch verrotteten Stümpfe kommen nach Jahrzehnten auf der entgegengesetzten Seite des Sandbergs wieder ans Tageslicht. Alle Beobachter stimmen darin überein, daß diese Auferstehung des Waldes aus seinem Sandgrabe einen unsagbar traurigen Anblick gewährt. „Alles hat sich in der Welt des Sandes in Atome aufgelöst, die wieder hervortretenden Bäume sind nichts mehr als morsche, zerbröckelte, schwarze Skelette. Vergebens hat diese oder jene Kiefer ihr Leben zu behaupten gesucht, indem sie dicht unter ihrer Krone neue Wurzeln geschlagen, die jetzt, vom nährenden Sande verlassen, frei in der Luft hängen, ein gar seltsames Bild." Im selben Maße, wie die Stämme wieder aus dem Sande emportauchen, brechen sie stückweise ab, und nur die untersten Teile bleiben stehen, dazwischen ist der Boden dicht mit den vermorschten Trümmern der Äste und Stammstücke bedeckt.

In ähnlicher Weise zerstört der Sand alle Holzteile der von ihm verschütteten Gebäude. Das Dorf Kamaiten kam in gänzlich verwüstetem Zustande wieder zum Vorschein, nachdem der Dünenzug darüber hinweggegangen war. Ergreifend ist die Geschichte des Dorfes Kunzen auf der Kurischen Nehrung, dessen Bewohner einen hartnäckigen, wenn auch aussichtslosen Kampf gegen die unerbittlichen Sandwogen kämpften. Um 1800 mußte das Dorf geräumt werden, die größtenteils aus Holz erbauten Hütten wurden abgebrochen und an geschützter Stelle wieder aufgeführt. Nur die Kirche, ein fester Ziegelbau, blieb stehen, und in ihr boten die Menschen dem heranrückenden Sandberg Trotz bis zum letzten Augenblick. Schilderungen berichten, wie die Gläubigen schließlich durch die Fenster ins Gotteshaus kriechen mußten, wo die Gemeinde auf Sandhügeln saß und der Pfarrer auf der Kanzel in

einer Sandgrube stand, bis endlich auch die Fenster verschüttet wurden und damit der letzte Eingang versperrt war. Etwa 50 Jahre lang lagen Dorf und Kirche unter einem 60 Meter hohen Sandberg begraben, dann kamen die Grundmauern der Häuser wieder zum Vorschein. Die Kirche bildete einen Trümmerwall, den man später abtrug und zu neuen Bauten verwendete. Schauerlich soll der Anblick des Kunzener Friedhofs gewesen sein: ein blendendes Sandfeld, bedeckt mit Menschenschädeln und bleichenden Gebeinen. Die Sandwogen hatten die Gräber aufgewühlt und die morschen Särge zerstört; nun trieben die halb vermoderten Reste vermengt mit den Gebeinen der Toten im wehenden Sande; ein wahrhaft gespenstisches Bild des Todes und der Vernichtung.

Die Wanderdünen der preußischen Ostseeküste sind erst vor 2—300 Jahren entstanden. Damals hat man, teils aus schnöder Gewinnsucht, teils aus strategischen Gründen die Nehrungen ihres vormals üppigen Waldbestandes beraubt und sie im Zustand trostloser Sandwüsten belassen, ohne zunächst auch nur den Versuch einer Aufforstung zu machen. Wie gefährlich dies war, lehrt unter anderem die Geschichte der Festung Pillau. Vom Meeresstrand bis zu den Schanzen zog sich früher ein Laubwald hin; das benutzten die Schweden im Jahr 1657, drangen im Schutz der Bäume bis zur Festung vor und hätten sie beinahe überrumpelt. Um vor ähnlichen Überraschungen gesichert zu sein, ließ darauf der Große Kurfürst den Wald niederhauen. Damit hatte er sich einen neuen Feind geschaffen, den Sand, der nun die schönen Wiesen bei Pillau verdarb und so mächtig vordrang, daß Friedrich der Große 1770 die Festung eingehen ließ. Erst unter Friedrich Wilhelm II. wurde sie wieder ausgegraben und die Befestigung der Dünen ernstlich in Angriff genommen. Auch die Wälder der Frischen Nehrung gegenüber Pillau waren damals längst der Axt zum Opfer gefallen; als der preußische Staat einmal notwendig Geld brauchte, verkaufte man sie um 200 000 Taler. Was dann noch übrig geblieben war, wurde im Siebenjährigen Kriege vernichtet.

Das Betreten der Wanderdünen ist vornehmlich zweier Umstände wegen gefährlich. In älteren, jetzt zur Ruhe gekommenen Dünen stecken bisweilen mächtige, von losem Holzmulm erfüllte Kiefernstämme, die eine dünne Sandschicht dem Blick entzieht. Betritt nun ein Mensch nichtsahnend eine derartige Stelle, so geben die lockeren Massen nach und er versinkt in einer zehn und mehr Meter tiefen Röhre, wo der nachstürzende Sand ihn rettungslos begräbt. Die heute noch wandernden Dünen enthalten keine solchen Menschenfallen, weil man die Bäume fällt, bevor der Sand sie erreicht.

Abb. 275. Wellenfurchen im Sand der Sahara.

Eine andere Gefahr liegt im Vorkommen von Triebsand innerhalb der Wanderbahnen. Wie oben erwähnt, bilden sich dort gelegentlich flache Seen. Werden diese vom Flugsand verschüttet, so entsteht aus Wasser und Sand eine Art Brei, auf dem der unvorsichtige Wanderer nicht den geringsten Halt findet. Zum Glück heben sich derartige Stellen durch ihre graue Färbung von dem sie umgebenden rein weißen Sande deutlich ab.

Seit langer Zeit hat man versucht, durch Bepflanzung der Dünen den Verheerungen des Wandersandes ein Ziel zu setzen. Dazu eignen sich besonders das Sandgras (Ammophila) und der schilfartige Strandhafer (Elymus), weil sie leicht anwachsen und mit der Zeit ein sehr tiefgehendes, dichtes Wurzelwerk bilden, in dessen Maschen sich der Wandersand fängt.

Erst wenn hierdurch eine gewisse Festigkeit der Dünen erreicht ist, kann man zur Anpflanzung von Kiefern schreiten. In vielen Fällen aber reichen diese Mittel nicht aus, und die Anlage ganzer Verschanzungen aus Reisig und Flechtwerk ist nötig, um der Düne die gewünschte Standfähigkeit zu geben.

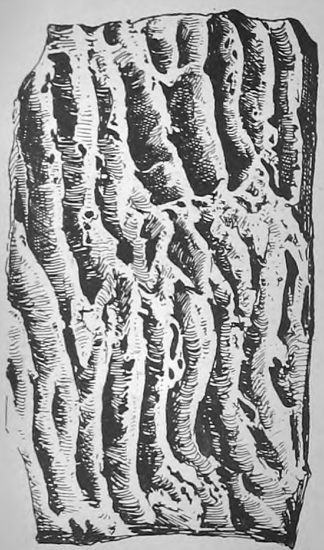


Abb. 276. Versteinerte Wellenfurchen im Buntsandstein.

Die Oberfläche vegetationsloser Dünen ist oft von einer Unzahl kleiner Furchen und Kämme bedeckt, die sich zwar vielfach verästeln und wieder vereinigen, im ganzen aber doch in parallelen Reihen dahinziehen (Abb. 275). Die Erscheinung erinnert an einen See, dessen Spiegel sich in leichtem Winde kräuselt; sie findet sich ganz ähnlich am feuchten Meeresstrande wieder, vornehmlich in Vertiefungen, wo das Wasser zur Ebbezeit länger stehen geblieben ist. Auch die Firnfelder des Hochgebirges zeigen nach frischen Schneefällen die gleiche Furchung, ebenso beobachtet man sie von hohen Bergen oder vom Luftballon aus auf der Oberfläche von Wolkenbildungen. Stets ist es der Wind, der bald direkt, bald durch den Wellenschlag des bewegten Wassers, die eigentümlichen Rippen und Runzeln hervorbringt. Man nennt sie Wellenfurchen, Kräuselmarken oder — mit einem der englischen Sprache entlehnten Ausdruck — Rippelmarken. Sie verlaufen im großen und ganzen senkrecht zur herrschenden Windrichtung.

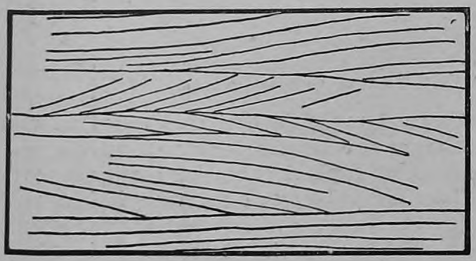


Abb. 277. Kreuzschichtung im Buntsandstein.

Auf den Schichtflächen gewisser Ablagerungen, namentlich des Buntsandsteins, finden sich häufig versteinerte Wellenfurchen. (Abb. 276). Bei Besprechung der deutschen Trias wurde erwähnt, daß die Mehrzahl der heutigen Geologen den Buntsandstein als Wüstenbildung auffaßt. Den Kräuselmarken kann man es allerdings nicht ansehen, ob sie sich auf einem sandigen Festland oder in einem flachen Strandmeer gebildet haben, aber der Buntsandstein zeigt noch andere Merkmale, die den auf trockenem Lande zusammengewehten Sandmassen eigentümlich sind. Dahin gehört die in Dünen häufig beobachtete Kreuz- oder Diagonalschichtung des Sandes. Das charakteristische an ihr ist (Abb. 277), daß in einem größeren Schichtensystem lauter kleine nach den Diagonalen schräg gestellte Schichtpakete miteinander abwechseln. Diese wunderliche Lagerung wird verständlich, wenn man den inneren Bau der Dünenmassen in Betracht zieht.

Wenn eine Düne deutlich geschichtet ist, besteht sie in der Regel aus dünnen Lagen feineren und gröberen Sandes, die wie die Häute einer Zwiebel, dem äußeren Umriß des Sandbergs entsprechend, übereinandergefügt sind (also ein ähnlicher Aufbau, wie ihn gewisse Domvulkane zeigen (vgl. Abb. 77, S. 87). In manchen Wüsten kommen auch Dünen vor, die in gleicher Weise aus abwechselnden Lagen von Sand und feinem Lehmstaub zusammengesetzt sind. Die Ursache liegt in der wechselnden Stärke des Windes, der bald feineres, bald gröberes Material in Bewegung setzt. Kommen nun derartig geschichtete Dünen ins Wandern, wobei eine die andere überschiebt oder sich ihr anlagert, so muß sich eine verwickelte Diagonalschichtung herausbilden.

Drittes Kapitel. Der Löß.

Vielen Bewohnern des südwestlichen Deutschland wird der Löß, jener gelbliche, pulverige Lehm, aus eigener Anschauung bekannt sein. Überall wo er in großen Massen auftritt, wie in der Rhein- und Mainebene, bedingt er eine außerordentliche Fruchtbarkeit des Landes. Sehr

eigenartig sind seine Lagerungsverhältnisse. Ganz und gar unabhängig vom Untergrund, legt er sich bald als zusammenhängende Decke über Ebene, Tal und Berg, bald klebt er nur hier und da an den Gehängen wie hingewehter Flugsand. Oft erscheint er auch ganz unvermittelt auf irgendeiner Talterrasse, während man ihn darunter und darüber vergeblich sucht, ja vereinzelte Lößflecke kommen in den Mittelgebirgen bis zu 400 Meter Meereshöhe vor. Einen auffälligen Zug der Lößlandschaft bilden die zahlreichen tief eingeschnittenen Hohlwege, deren senkrechte Wände vortreffliche Aufschlüsse liefern (Abb. 278); man erkennt hier deutlich, daß dem echten Löß jede Spur von Schichtung abgeht, er ist eine durch und durch massige Ablagerung. Was sein geologisches Alter betrifft, so stammt er unzweifelhaft aus den späteren Abschnitten der diluvialen Eiszeit, ja die Hauptmasse ist wahrscheinlich erst nach dem Abschmelzen der letzten großen Binneneisdecke entstanden, also in einem Zeitalter, das schon den Übergang zur geologischen Gegenwart bildet.

Abb. 278. Hohlweg im Löß bei Nußloch. (Nach Ruska.)

Streng genommen, ist es nicht richtig, den Löß als Lehm zu bezeichnen, er ist dafür zu kalkhaltig. Nur die obersten Lagen, deren kalkige Bestandteile das Regenwasser aufgelöst und fortgeführt hat, sind lehmartig; diese oft mehrere Meter mächtige Deckschicht des Löß wird in Süddeutschland Laimen genannt. Der gelöste Kalk wandert zum großen Teil in die Tiefe und verdichtet sich dort zu festen Knäueln, die wegen ihrer seltsamen Gestalt Lößkindeln oder Lößpuppen heißen (Abb. 279). In Hohlwegen sieht man sie oft an hervorstehenden Baumwurzeln hängen.

Eine weitere Eigentümlichkeit des Löß bilden die zahlreichen feinen Röhrchen, die ihn zumeist in der Richtung von oben nach unten durchsetzen. Sie sind oft von schneeweißer Kalkrinde umwachsen und verzweigen sich nach der Tiefe unter spitzen Winkeln. Offenbar haben wir sie als Hohlformen oder Ausgüsse verwester Pflanzenwurzeln zu deuten. Wie aber kommen die in solcher Menge in den Löß? Keine unter Wasser entstandene Ablagerung kann ein so merkwürdiges Gefüge besitzen, der Löß muß auf dem Festlande, auf grasbewachsenen Flächen zum Absatz gelangt sein. Dafür spricht auch der Charakter seiner Ver-

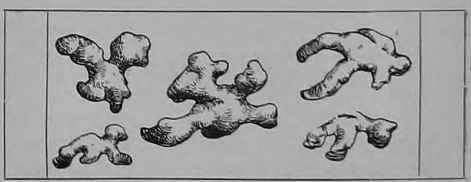


Abb. 279. Lößkindeln.

steinerungen. Es sind fast ausnahmslos Landschnecken, von denen drei in solcher Menge und Verbreitung vorkommen, daß sie die Rolle von Leitfossilien spielen: die kleine Pupa muscorum, die unserer Weinbergschnecke nahestehende

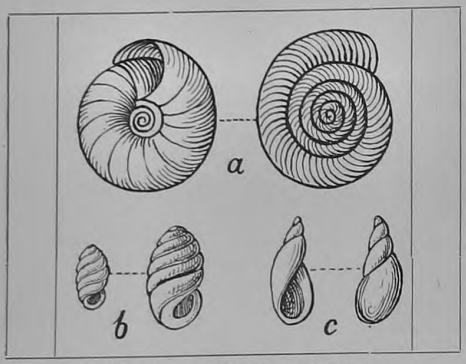


Abb. 280. Lößschnecken, vergrößert.
(a Helix hispida, b Pupa muscorum, c Succinea oblonga.)

Helix hispida und eine Art der Bernsteinschnecke, Succinea oblonga (Abb. 280). Sehen wir nun zu, ob sich heute irgendwo auf der Erde Ablagerungen bilden, die uns die Entstehung des Löß verständlich machen.

Wüstengebiet fast niemals; der Sand ist zu schwer, um einen längeren Flug machen zu können, und dringt nur an einzelnen Stellen schrittweise über die Grenze vor (Wanderdünen). Anders verhält es sich mit den feinsten, kalkigen und tonigen Staubteilchen; die trägt der Wind in weite Ferne. Allerdings wird ein Staubfall von so riesiger Ausdehnung, wie man ihn im März 1901 in Europa erlebte, nur ausnahmsweise eintreten; in der Regel erlahmt die Kraft des Windes viel früher, und der Staub kommt schon im Vorland der Wüste, in der grasbewachsenen Steppe zur Ruhe.

Hier gehören Staubfälle zu den alltäglichen Erscheinungen. Nach Richthofen ist am Wüstenrand die Luft selbst bei vollkommener Windstille oft gelb und wenig durchsichtig, sobald sich aber der Wüstenwind erhebt, überzieht sich die ganze Landschaft mit einem undurchdringlichen Schleier. Es ist daher kein Wunder, daß in solchen Gegenden die Staubmassen allmählich zu einer geologischen Formation von bedeutender Mächtigkeit anwachsen, die Grasnarbe wirkt dabei als Staubfänger, und da bei jedem Staubfall der Boden sich nur um den winzigen Bruchteil eines Millimeters erhöht,

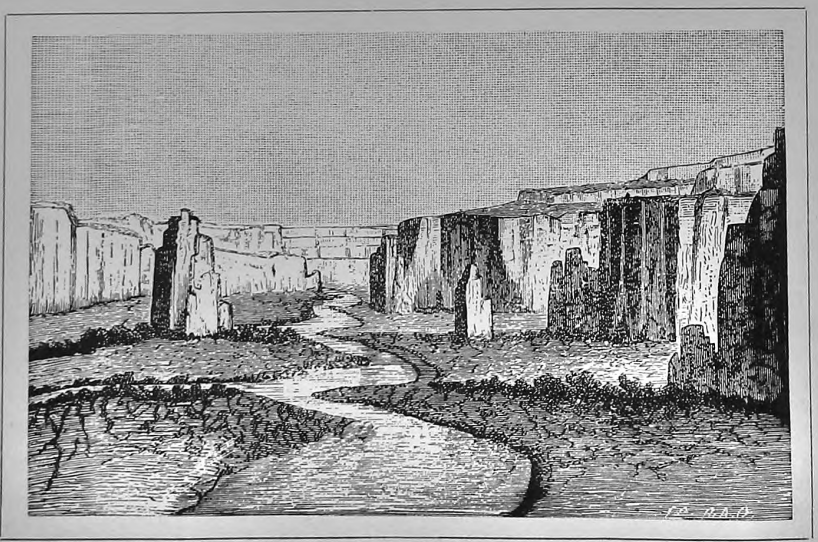


Abb. 281. Chinesische Lößlandschaft.

Wie wir wissen, ist der Wüstensand nichts anderes als zerkleinerter Felsschutt, den der Wind über große Flächen ausbreitet. Aber die Sandstürme überschreiten das eigentliche

so finden die Gräser reichlich Zeit nachzuwachsen und immer neuen Staub aufzunehmen und festzuhalten. Die absterbenden Würzelchen hinterlassen im Steppenboden feine röhrenför-

mige Hohlräume, wie wir sie als charakteristisch für den Löß kennen gelernt haben.

Das klassische Gebiet der Staubsedimente ist das nördliche China, wo sie an vielen Stellen eine Mächtigkeit von 400 und mehr Meter erreichen (der deutsche Löß liegt nirgends mächtiger als etwa 30 Meter). In diese aus Staub errichteten Gebirge hat das fließende Wasser tiefe Engpässe und Hohlwege eingeschnitten, die auf beiden Seiten von steilaufragenden Hängen begrenzt sind (Abb. 281). Die gleiche Wirkung bringt aber auch der Wind hervor. Die Räder der Wagen und die Hufe der Zugtiere lockern den feinerdigen Boden der chinesischen Straßen; der Wind fegt den Staub hinweg, so daß Hohlwege entstehen, die im Lauf der Zeit eine Tiefe von 15—30 m erreichen und dann, als zu unbequem für den Verkehr, aufgegeben werden.

Woher sind nun diese Unmassen von Staub gekommen? Im nördlichen China wehen vorherrschend nordwestliche Winde, das „Muttergestein" des chinesischen Löß ist also in den weiten Ebenen des innersten Asiens, in den Fels- und Kieswüsten der Mongolei und des östlichen Turkestan zu suchen. Diese Länder zeichnen sich durch ausgesprochen kontinentales und trockenes Klima mit sehr schroffen Temperaturgegensätzen auf; infolgedessen geht die Zerstörung der Gesteine durch physikalische Verwitterung ungemein schnell vonstatten. Die starken Winde nehmen das gesamte feine Verwitterungsmaterial auf und tragen es weit über die Grenzen des Gebiets; in Zentralasien selbst kann sich also kein Löß ablagern, woraus sich die vollkommene Unfruchtbarkeit jener weiten Landstriche erklärt. Ist doch der feine Staub gleichsam der Extrakt der zerstörten Felsmassen, besteht er doch zum großen Teil aus den Zersetzungsprodukten der Feldspate und Glimmer, die zu den wichtigsten Pflanzennährsalzen gehören. Alle diese Stoffe werden fortgeweht und befruchten fern vom Mutterlande den chinesischen Boden, dessen Bewohner gleichsam vom zentralasiatischen Staube leben.

Die hervorragende Bedeutung des Windes, in geologischer wie ganz besonders in volkswirtschaftlicher Beziehung tritt an diesem Beispiel sehr klar zutage. Zweifellos findet auch in unseren Gegenden ein ähnlicher Transport nahrhafter Bodenstoffe durch den Wind statt, nur in schwächerem Maße, weil ja an den meisten Stellen eine dichte Pflanzendecke das Erdreich schützt. Aber im Herbst und Frühjahr, wenn weite Strecken Landes unbebaut daliegen und das Erdreich nach einer längeren Trockenperiode ausgedörrt ist, kann auch in unserem Klima die Deflation einen merklichen Grad erreichen. Sie macht sich am stärksten fühlbar auf ungeschützten Hochebenen und auf kahlen Abhängen, die der herrschenden Windrichtung zugekehrt sind.

Seitdem es eine geologische Wissenschaft gibt, hat die Frage nach der Entstehung des Löß die Köpfe der Fachgelehrten beschäftigt. Die älteren Forscher, so auch Lyell, der „Altmeister" der Geologie, sahen im süddeutschen Löß den Absatz der Schmelzwasser, die am Schluß der Eiszeit den Alpen entströmten und sich im Rheintal zu einem ungeheuren Strom vereinigten. Nach Lyells Meinung entstammte der Löß den eiszeitlichen Moränen, deren feinste Bestandteile von den gewaltig angeschwollenen Gletscherbächen ausgewaschen und in die Ebene hinabgespült wurden, wo sie als mächtige Schlammassen zum Absatz kamen. Wir haben oben die Gründe kennen gelernt, die gegen eine Entstehung des Löß unter Wasser sprechen: seine eigentümlich röhrige Struktur, sein reicher Gehalt an überresten landbewohnender Tiere, seine Schichtlosigkeit. Dazu kommt noch die bemerkenswerte Erscheinung, daß der Löß häufig auf engem Raume in sehr verschiedener Höhenlage auftritt. Hätten am Schluß der Eiszeit die Schmelzwasser tatsächlich bis zur Höhe der obersten Lößflecke die Täler und Niederungen bedeckt, so müßte man noch andere Spuren dieser diluvialen Sintflut finden, was aber nicht der Fall ist.

All die genannten Eigentümlichkeiten des Löß sind leicht verständlich, wenn man ihn, wie es die Mehrzahl der heutigen Geologen nach Richthofens Vorbild tut, als eine vom Wind zusammengewehte Steppenablagerung auffaßt. Aber waren denn Süd- und Mitteldeutschland in jenem Zeitalter Steppen? Und wenn ja — wo lag die Wüste, aus der die Staubmassen herüberwehten?

Wir brauchen nicht weit zu gehen, um ihre Spuren zu finden. Als die ungeheuren, über dem norddeutschen Flachland und den Alpen ausgebreiteten Eismassen abschmolzen (selbstverständlich war das nur in einer längeren, trockenen Klimaperiode möglich), hinterließen sie das Land im Zustand schauerlicher Verwüstung und Verödung. Nur schrittweise konnte der Pflanzenwuchs von den Rändern der Moränen- und Schotterwüste aus ins Innere der verheerten Gebiete vordringen und es kann

anfangs nur eine kümmerliche Vegetation gewesen sein, die sich nach Art der nordsibirischen Tundrenflora aus Moosen, Seggen, Flechten und genügsamen Zwergsträuchern zusammensetzte. Später mag der Pflanzenwuchs etwas reicher geworden sein und dem der innerasiatischen Grassteppen geglichen haben, ja es kam in manchen Gegenden Mitteleuropas zur Entwicklung von Parklandschaften, was im pflanzengeographischen Sinne soviel bedeutet wie ein von lichten Waldungen oder kleinen Waldinseln unterbrochenes Grasland. Eine weitere Ausbreitung des Waldes war bei dem herrschenden trocken-kalten Klima unmöglich; erst als mit Beginn der gegenwärtigen Periode (Alluvium) das Klima wärmer und feuchter wurde, bedeckte sich allmählich ganz Mitteleuropa mit jenen undurchdringlichen Wäldern, die aus den Schilderungen der römischen Schriftsteller bekannt sind.

Daß Deutschland zur Zeit der Lößbildung wirklich ein ähnliches Klima besaß wie gegenwärtig die sibirischen Tundren, wird durch die häufig im Löß vorkommenden Reste von Steppentieren bewiesen. Die erste derartige Tiergesellschaft entdeckte Nehring im Löß von Braunschweig, später hat man sie noch an zahlreichen anderen Punkten Deutschlands und Österreichs aufgefunden. Neben den allbekannten Diluvialtieren, Mammut, Renntier und wollhaarigem Nashorn, kommen hier vor: die Steppenantilope, das Steppenmurmeltier, das Ziesel, die sibirische Wühlmaus, der Zwergpfeifhase, der heute in den tartarischen Steppen sich tummelnde Wildesel, Wolf, Iltis, Hermelin und noch viele andere in Tundren und Steppen heimische Formen. Mehrere Arten vom Lemming, Schneehase, Moschusochse, die in ihrer Gesellschaft auftreten, deuten darauf hin, daß das Klima wenigstens anfangs noch recht kalt war. Diese an arktische Verhältnisse gewöhnten Tiere verschwinden jedoch bald, und es bleibt eine reine Steppenfauna übrig.

Beiläufig sei bemerkt, daß sich auch in der späteren Geschichte der deutschen Tierwelt die allmähliche Umwandlung des trockenen Kontinentalklimas in ein milderes Seeklima deutlich widerspiegelt. An die Stelle der Steppenfauna trat zunächst eine Weidefauna, die schon mehr Wärme und Feuchtigkeit verlangte; unermeßliche Herden wilder Pferde tummelten sich in den fruchtbaren, von saftigen Wiesen bedeckten Niederungen unseres Vaterlandes. Aber das Steppen- und Wiesenland wurde im Lauf der Jahrtausende von den vordringenden Wäldern erobert; Hirsch, Reh, Wildschwein, Auerochs usw. erschienen auf dem Plan und bilden von nun an die hervorragendsten Charaktergestalten der deutschen Tierwelt.

Woher die Staubmassen kamen, die sich überall an windgeschützten Abhängen zu mächtigen Lößlagern anhäuften, bedarf kaum der Erläuterung. Aus den Schuttmassen, die das abschmelzende Eis zurückließ, aus Moränen, Blocklehm, Kies- und Sandfeldern, hat der Wind alles feine staubförmige Material herausgeblasen und in die Ferne getragen. Soweit die letzte Vereisung gereicht hatte, war das Land ohne Pflanzendecke; hier konnte kein Staub liegen bleiben, hier finden wir auch keinen Löß. Vegetation ist nötig, um den Staub aufzufangen und festzuhalten, und die gab es anfangs nur in den unvergletschert gebliebenen Landstrichen, zu denen ja fast ganz Süd- und Mitteldeutschland, mit Ausnahme der höheren Gebirge, gehörte. Das sind aber zugleich die Gegenden, auf die der Löß, wenigstens in seiner typischen Ausbildung, beschränkt ist.

Auch die merkwürdige Erscheinung, daß er sehr häufig nur an einer Talseite oder Hügelflanke auftritt, während der gegenüberliegende Abhang lößfrei zu sein pflegt, ist bei einem vom Winde transportierten Sediment ganz natürlich. Der niedergefallene Staub wird nur dort liegen bleiben, wo er sich im Windschatten befindet, also bei vorherrschenden Westwinden auf der geschützten Westseite des Tales.

Alles bisher Gesagte bezieht sich ausschließlich auf den reinen, ungeschichteten, von Pflanzenwurzeln durchsetzten Löß, der zweifellos auf trockenem Lande entstanden ist. Wir müssen jedoch bedenken, daß ein bedeutender Teil der Staubmassen in Flüsse und stehende Gewässer fiel. Die Flüsse führten das feine Material dem Meere zu; in den Seen und Teichen sank es allmählich auf den Grund und konnte dort im Lauf der Zeit geschichtete Ablagerungen von ansehnlicher Dicke bilden. Diesem „Seelöß" fehlen natürlich die feinen Röhrchen; er enthält eingeschwemmten Kies und Schlamm und führt reichlich Versteinerungen von Süßwassertieren. Sehr ähnliche Bildungen kommen zustande, wenn echter Landlöß von Wasserfluten in die Täler hinabgeschwemmt und dort abgesetzt wird. Bei der lockeren Beschaffenheit des Lößes mußten solche Ereignisse häufig eintreten, als gegen Ende der Steppenzeit das Klima feucht und regnerisch wurde.

In der Tat bedeckt den Boden vieler süddeutschen Täler ein deutlich geschichteter, von Sand und Kies verunreinigter Löß, dessen Entstehung wahrscheinlich auf eine Umlagerung älterer Staubsedimente zurückgeht.

In fremden Ländern gibt es noch mancherlei andere Abarten des Löß. Hier sei nur die russische Schwarzerde (Tschernosjom) genannt, ein äußerst fruchtbarer, für den Getreidebau sehr geeigneter Boden, der durch Beimischung von Humus eine schwarze oder tiefbraune Färbung bekommen hat, ursprünglich aber nichts anderes war als vom Wind abgelagerter Steppenstaub.

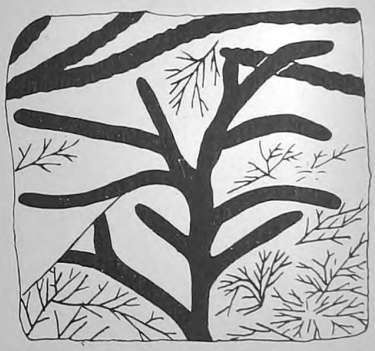


Abb. 282. Fukoiden.

Neunter Abschnitt.

Bau der Faltengebirge.

Erstes Kapitel. Eine Reise durch die Alpen.

Vom alpinistischen Standpunkt aus hat man oft das Hochgebirge mit einer gewaltigen Festung verglichen, gegen die das wagemutige Heer der Bergsteiger Sturm läuft. An Erfolgen hat es diesem Feldzug nicht gefehlt, eine Felsenburg nach der anderen ist im Lauf der Jahrzehnte erstürmt worden, und auf ein kleines Häufchen ist, wenigstens in den Alpen, die Zahl jener Gipfel zusammengeschwunden, die noch ihres Bezwingers harren. Mit der touristischen Erschließung eines Gebirges stellt sich jedoch eine neue Aufgabe ein: seine wissenschaftliche Durchforschung. Sie gilt im eigentlichen Hochgebirge weniger der lebendigen als der leblosen Natur; denn obschon das Tier- und Pflanzenleben selbst in den höchsten Regionen nicht völlig erlischt (wir erinnern an jene merkwürdige Alge, die den Schnee mancher Firnfelder rötlich färbt, und an den Gletscherfloh, der an sonnigen Tagen die Schmelzwassertümpel der Eiswüsten belebt), so hört doch im großen und ganzen das Arbeitsgebiet des Zoologen und Botanikers dort auf, wo der kahle Fels beginnt. Um so größer ist die Ausbeute für den Geologen. Hier findet er im Überfluß, was er im Mittelgebirge und Flachland oft stundenweit vergebens sucht: Aufschlüsse im anstehenden Felsgestein. Unverhüllt liegt das Skelett der Berge vor seinen Augen, er braucht nur zu sammeln, zu vergleichen, das Beobachtete in seine Karte einzutragen, und ein klares Bild vom geologischen Bau des Gebirges ist gewonnen!

Man könnte danach meinen, Alpengeologie zu treiben, sei etwas sehr Leichtes und Einfaches. Ja, wenn nur die zahllosen, oft unglaublich verwickelten Störungen des Schichtenbaus nicht wären! Noch am einfachsten liegen die Verhältnisse in jenen Teilen des Gebirges, die aus weitgespannten, regelmäßigen Falten aufgebaut sind. Aber das ist in den Alpen selten der Fall. Durch nachträgliche Störungen sind die alten Falten zerrissen und verbogen, die Gewölbe eingebrochen, die Mulden emporgehoben. Manche Bergmassen bestehen aus mehreren übereinander geschobenen Faltensystemen, wodurch ein ungemein verwickelter Aufbau zustande kommt. Wieder andere und zwar sehr ausgedehnte Teile des Gebirges sind dem Anschein nach überhaupt nicht gefaltet (Graubünden, Südtirol); wer sich aber der Hoffnung hingibt, hier klare, leichtverständliche Lagerungsverhältnisse zu finden, wird eine arge Enttäuschung erleben.

In solchen Gegenden tritt an die Stelle der Falten ein fast unübersehbarer Wirrwarr von senkrechten, schrägen und wagerechten Verschiebungen; im besonderen macht das Bündner Land den Eindruck, als sei es einmal von gigantischen Kräften kilometerhoch emporgehoben und mit furchtbarer Gewalt auf eine harte Unterlage geschleudert worden, wobei die ganze Masse in Hunderte von großen und kleinen Stücken zerbrach, die in kunterbunten Stellungen liegen blieben. Da ist bisweilen im wahren Sinne des Wortes das Unterste zu oberst gekehrt: tertiäre Schichten bilden den Fuß der Bergwände, höher hinauf folgen Trias und Jura, und oben auf dem Kamm liegt als breite, alles verhüllende Decke der „uralte" Gneis mit seinem Gefolge kristallinischer Schiefer.

Ist dies schon eine Lagerung, die dem Geologen arges Kopfzerbrechen verursacht, so gibt es in den Alpen doch noch weit rätselhaftere Dinge. Mitten in einer verhältnismäßig einfach gestalteten Gegend erscheinen hier und da Berge, die durchaus nicht zu ihrer Umgebung passen. Fremdartig sind ihre Gesteine, fremdartig auch die Lebewesen, deren versteinerte Reste in ihren Schichten vorkommen. Man könnte sie für Findlinge, für erratische Riesenblöcke halten, wären nicht ihre Dimensionen viel zu kolossal für einen Transport auf dem Rücken der Eisströme. Auch wüßte man in den wenigsten Fällen zu sagen, wo die Gletscher diese Felsmassen aufgenommen haben könnten. Eine andere viel gewaltigere Kraft muß sie aus weiter Ferne hergeschafft haben.

Die moderne Alpengeologie bezeichnet solche

ortsfremden, nicht vom Eis oder Wasser transportierten Felsmassen, wenn sie klein sind, als exotische Blöcke, bei bedeutender Größe als Klippen. Am Nordrand der Schweizer Alpen kommen sie in einer gewissen Zone massenhaft vor. Das klassische Beispiel von Klippen, die als gewaltige Felsberge ihre Umgebung hoch überragen, sind die kahlen Pyramiden der Mythen unweit Brunnen am Vierwaldstättersee. Jeder Besucher dieser lieblichen Gegend hat sie gesehen, und die meisten nun denken, hier sei vielleicht eine große, überkippte Falte vorhanden, wie sie zustande kommt, wenn eine Schichtenmasse sich überschlägt; dann hätte der Mythenkalk ursprünglich unter dem Flysch gelegen und wäre durch eine solche Umdrehung nach oben gekommen. Aber die Mythen stammen gar nicht aus dem Untergrund des Flyschgebirges, es sind wirklich fremde, aus der Ferne eingewanderte Felsmassen.

Der Beweis dafür liegt eben in ihrer

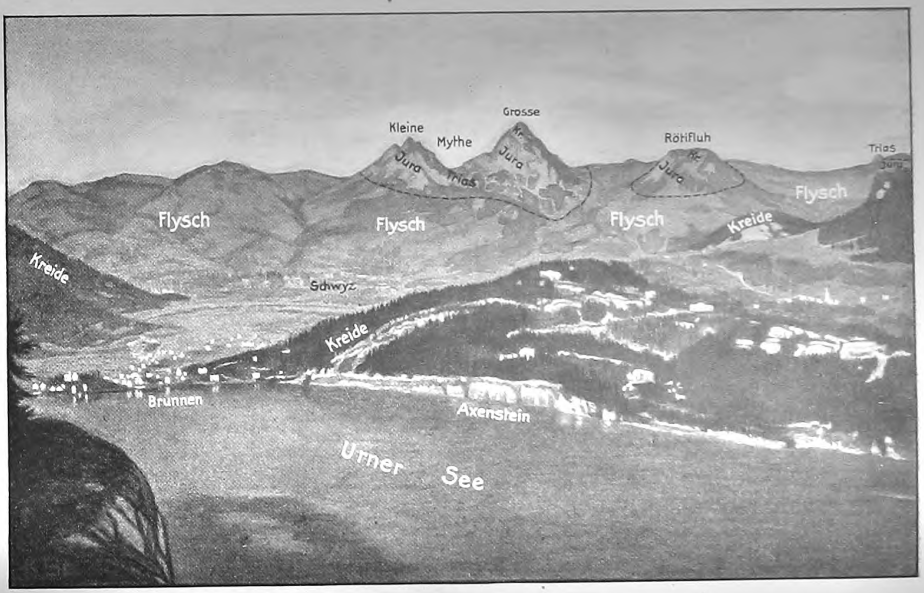


Abb. 283. Ansicht der Mythen und ihrer Umgebung von Südosten.
Im Vordergrund sieht man die Kreidekette des Frohnalpstocks und Axensteins zur Mulde von Brunnen niedersinken und auf der anderen Seite in der Kette der Rigihochfluh wieder emporsteigen. Auf dem Flysch der Mulde von Brunnen liegen wurzellos die Klippen der Mythen, der Rötifluh und des Schien. (Nach Steinmann.)

werden sich über die seltsame Erscheinung verwundert haben, ohne freilich zu ahnen, welch schwierige Nuß jene spitzen Zinken den Geologen zu knacken geben.

Schon durch ihre Form und Stellung verraten sich die Mythen als eigenartige, von den Bergketten ringsum grundverschiedene Gebilde. Wie riesengroße Hüte sind sie den dunklen niedrigen Flyschrücken der Umgebung aufgesetzt (Abb. 283). Der Flysch ist eine größtenteils alttertiäre Ablagerung (vgl. S. 176), die Mythen aber bestehen aus mesozoischen Schichten, und zwar in der Hauptsache aus Jurakalk. Zunächst ist also die Lagerung umgekehrt, als sie sein sollte. Man könnte Fremdartigkeit. Durchforscht man das ganze Gebirge südlich von den Mythen bis zur Höhe des Gotthards, nirgends begegnet man ähnlichen Gesteinen. Wohl reiht sich in den dazwischen liegenden Glarner Alpen eine Kalkkette an die andere, wohl sind hier alle Formationen vom Perm bis zum Eozän, zum Teil in mächtiger Entwickelung, vertreten, aber ihr Gepräge ist ein ganz anderes. Felsarten und Versteinerungen der Glarner Alpen auf der einen, der Mythen auf der anderen Seite weichen so stark voneinander ab, daß ihre Wiege unmöglich im gleichen Meere gelegen haben kann; erst viel später hat ein gewaltiger Schub der Erdrinde die ungleichartigen Absätze mit-

einander in Berührung gebracht. Die Heimat der Mythengesteine liegt fern im Süden, etwa im heutigen Oberitalien; wie man das herausgefunden hat, soll der Leser weiter unten hören.

Auch abgesehen von dem meist recht verwickelten Schichtenbau, hat die Alpengeologie mit vielerlei Schwierigkeiten zu kämpfen. Da ist zunächst die Seltenheit der Versteinerungen. In vielen Schichten kann man stunden-, ja tagelang suchen, bis eine Handvoll Fossilien beisammen ist, und diese mühsam errungenen Schätze sind dann oft von den starken Pressungen im Gestein dermaßen mitgenommen, daß eine genaue Bestimmung nach Gattung und Art unmöglich ist. Wirklich ergiebige Fundstellen kommen in den Hochalpen nur ganz vereinzelt vor, häufiger trifft man sie in den niedrigen Vorbergen, wo die gebirgsbildenden Kräfte nicht mit voller Gewalt wirksam waren.

In zahlreichen Gesteinen hat auch die Metamorphose fast sämtliche organischen Reste zerstört. Das ist der Grund, warum man sich über das Alter so mancher wichtigen Schichtkomplexe noch immer im unklaren befindet. Solch eine geologische Sphinx ist beispielsweise die Formation der Bündner Schiefer in der Ostschweiz. Hinterrhein und Albula haben in das weiche, leicht zerbröckelnde Gestein tiefe Schluchten eingeschnitten, deren berühmteste, die Via Mala, seit alter Zeit als eins der großartigsten Schaustücke in den Alpen gilt. Die schwarzen Schieferwände ragen zu beiden Seiten der Talenge gegen 500 m empor, tief unten schäumt im engen Cañon der hellgrüne Rhein. Die merkwürdigsten Fältelungen und Knickungen der Schichten kann man an den prachtvollen Aufschlüssen längs der Straße studieren; das

Abb. 284. Gefaltete Kreideschichten an der Axenstraße zwischen Sisikon und Flüelen. Stierle phot.

Gestein sieht aus, als sei es im weichen, plastischen Zustande durch und durch geknetet und zusammengepreßt werden (Abb. 170, s. S. 182).

Würde man das Alter der Bündner Schiefer genau kennen, so wäre manches Rätsel im Bau der Rätischen Alpen gelöst. Hervorragende Fachmänner wie Heim, Steinmann, Rothpletz, haben sich eingehend mit dem Problem beschäftigt, sind aber zu stark abweichenden Ergebnissen gelangt. Die Schiefer führen an einzelnen Stellen Versteinerungen, bald Belemniten und Seelilien aus der Jurazeit, bald die merkwürdigen, aus dem Tertiär stammen-

den Fukoiden (Abb. S. 333), die man in der Regel als Reste von Meeresalgen deutet. Daraus ergibt sich, daß die Schiefer zum mindesten zwei verschiedenen geologischen Perioden angehören. Weil aber die Hauptmasse aller Versteinerungen entbehrt, so hilft diese Entdeckung nicht viel, und die Unsicherheit besteht fort. In der Tat gibt es kaum eine geologische Formation, der man nicht wenigstens einen Teil der Bündner Schiefer zugerechnet hätte, von den ältesten kristallinischen Schiefern bis hinauf ins Tertiär. Neuerdings gewinnt die Ansicht von einem recht jugendlichen, größtenteils tertiären Alter dieser Schichtengruppe immer mehr Anhänger.

Übrigens kommen sehr ähnliche und ebenso rätselhafte Gesteine auch in vielen anderen Teilen des Gebirges vor. Für den Bau der Westalpen besitzen graue, ebenfalls gänzlich versteinerungsleere Glanzschiefer eine große Bedeutung; je nachdem die verschiedenen Beobachter sie als eozoisch, kambrisch, triadisch, jurassisch oder tertiär auffassen, wechseln auch die Ansichten über den Bau der betreffenden Gebirgsstöcke. Ebensolche Schmerzenskinder der Alpengeologie sind die bunten, stark gefalteten und zerdrückten „Brenner" Schiefer in Tirol, deren weiche, leicht abrutschende Massen den Bau der Brennerbahn so schwierig gestaltet haben. Die Eigenschaften dieser blätterigen, kalkreichen Phyllite kann jeder, den es interessiert, in den zahlreichen Steinbrüchen und sonstigen Aufschlüssen längs der Brenner Straße (namentlich zwischen Steinach und Gries) bequem studieren.

Nehmen wir nun an, alle diese Rätsel wären gelöst, die Lagerungsverhältnisse und das Alter jeder beliebigen Schicht in den Alpen genau bekannt, so wären doch erst die Vorarbeiten erledigt, und als eigentliche Hauptaufgabe bliebe noch die Entstehung des Gebirges zu erklären.

Bekanntlich sind die Alpen kein einfaches Faltengebirge wie z. B. der Schweizer Jura, sondern bestehen aus mehreren parallel laufenden Zonen von ganz verschiedenartigem Bau. Zahl und Anordnung der Zonen ist aber in den Schweizer Alpen anders als in den zu Österreich gehörenden Teilen des Gebirges. Um uns davon ein Bild zu verschaffen, wollen wir einmal die Alpen in Gedanken auf verschiedenen Routen durchqueren, und beginnen mit der gewiß vielen Lesern bekannten Gotthardbahn (zur folgenden Beschreibung vgl. die beiden Kartenskizzen Abb. 285 und 289.

Von Luzern führt uns der Zug hart am Ufer des Vierwaldstättersees nach dem aus Schillers „Tell" bekannten Küßnacht. Obwohl wir uns noch am äußersten Rand der Alpen befinden, sind die Berge über dem See schon ansehnlich hoch. Staunen erregt vor allem das gewaltige, aus klotzigen Buckeln aufgetürmte Massiv des Rigi. Schroff hängen am „Rotstock" die roten Nagelfluhwände hoch über der Küßnachter Bucht, während gegen Süden und

Abb. 285. Die geologischen Zonen der Schweizer Alpen zwischen Luzern und Bellinzona. Von Nord nach Süd: 1. Molasse (Nagelfluh). 2. Flysch mit aufgeschobenen Klippen. 3. Nördliche Kalkalpen (Jura, Kreide, Eozän). 4. Aarmassiv (Granit und kristalline Schiefer). 5. Urseren-Mulde (metamorphosierte Schiefer und Kalke der Juraformation). 6. Gotthardmassiv (Gneise verschiedenen Ursprungs). 7. Bedretto-Mulde (Bündner Schiefer, Dolomit, Gips). 8. Tessiner Massiv (Eruptivgneis).

Osten Mergel- und Sandsteinschichten terrassenförmig abfallen. Der Rigi ist gefaltetes und steil aufgerichtetes Tertiär; wir sind hier also im Bereich der oligozänen und miozänen Molasse, deren Ablagerungen das fruchtbare Acker-, Wiesen- und Waldland der Nordschweiz zusammensetzen. Nur ein kleiner Teil des Molasselandes ist so stark gefaltet, daß er im eigentlichen Sinne zu den Alpen gehört. Die Eisenbahn durchquert rasch den schmalen Strei-

fen und tritt noch angesichts des Rigi in die Flyschregion ein. Die zweite, viel breitere Zone des Gebirges beginnt: zuerst einförmige, langgestreckte Flyschrücken, gekrönt von den seltsamen Klippenbergen, die wir als eingewanderte Fremdlinge kennen gelernt haben, — dann steigt bei Brunnen ein breites Gewölbe von Kreideschichten auf (vgl. Abb. 283). Mitten durch ist es geschnitten vom tief eingefurchten Urner See: hüben der steil abfallende Felskoloß des Axensteins, drüben das ganz entsprechend gebaute Massiv von Seelisberg sind Teile eines Ganzen, sind ein ursprünglich zusammenhängender Gebirgssattel, den die Erosion durchsägt hat.

Diesem vordersten Sattel schließen sich weiter südlich noch höhere Kreidegewölbe an, unterbrochen von Mulden und Senkungen, die aber nicht regelmäßig abwechseln, sondern ein ziem-

Abb. 286. Exogyra Couloni. Untere Kreide von Mitteleuropa.

lich krauses Durcheinander bilden. Infolgedessen ist der Bau der ganzen Gebirgskette schwer zu übersehen und hat die verschiedenartigsten Deutungen erfahren. Berühmt sind die prachtvollen S-förmigen Falten der unteren Kreide an der Axenstraße zwischen Flüelen und der Tellsplatte (Abb. 284). Den besten Überblick hat man vom Dampfschiff aus, während zum Studium der merkwürdigen Schichtenknickungen eine Fußwanderung auf der Axenstraße zu empfehlen ist. Auch Versteinerungen kann man dort sammeln: eozäne Nummuliten, Armfüßer und Muscheln der Kreideperiode, z. B. die seltsame Auster Exogyra Couloni (Abb. 286).

Für die Eisenbahn ist zwischen den schroffen Wänden des U-förmigen Trogtals und dem See kein Raum mehr geblieben, die Trace ist in die Felsen gesprengt oder durchbricht die Kreideberge in langen Tunnels. Bei Flüelen endet gegenwärtig der See, und die Bahn läuft auf dem alten, breiten Seeboden im Reußtale aufwärts. Der Charakter der Berge rechts und links bleibt der gleiche, wir sind mitten in der stark gefalteten Zone der Kalkalpen, die vom Berner Oberland kommen und nordöstlich über Glärnisch und Säntis zum Rheine streichen. Dieser ganze Gebirgszug besteht aus einer Unzahl teils stehender, teils liegender Falten, die wahrscheinlich mehreren übereinandergeschobenen „Decken" angehören.

Im Landschaftsbild der Kalkalpen herrscht ein eigenartiger Stufenbau. Überall erblicken wie terrassenförmig aufgebaute Gehänge, darüber kahle Felsabstürze, die von schmalen Grasbändern unterbrochen sind. Manche Berge wie z. B. den Glärnisch könnte man mit ungeheuren Treppen vergleichen, die von breiter Grundlage ausgehen, sich nach oben immer mehr verschmälern und in einer spitzen Felspyramide endigen. Dieser eigentümliche Bau beruht auf der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der Schichten gegen die Verwitterung: harte Lagen bilden die schroffen Wandstufen, während die eingelagerten weichen Bänke als begrünte, sanft ansteigende Terrassen erscheinen.

Ungefähr dort, wo das Reußtal sich stark verengt (unterhalb Erstfeld) tritt die Gotthardbahn in die dritte Zone der Schweizer Alpen ein. Am Talboden wird die Unterlage des Kalkgebirges sichtbar: steil aufgerichtete kristalline Schiefer, Gneise und Glanzschiefer, die talaufwärts immer mächtiger werden und den Kalk in die höchsten Gebirgslagen, auf die Kämme und Gipfel, zurückdrängen. Kurz hinter Erstfeld leuchten hoch oben die mächtigen Kalkbastionen der beiden Windgällen als letzte vorgeschobene Posten des sedimentären Gebirges; weiter südlich herrscht vom Talboden bis zu den höchsten Firsten ausschließlich das Kristallinische.

Die Gneise und Schiefer bilden den „Mantel" eines der gewaltigsten alpinen Granitstöcke, des fast 100 Kilometer langen, von Gampel im Rhonetal bis Disentis in Graubünden reichenden Aarmassivs. Bald bemerken wir den Granit, ein prächtig schwarzweißes, etwas schieferiges Gestein, dicht neben der Bahnlinie, wo er in großen Steinbrüchen gewonnen wird. Die älteren Geologen nannten ihn Protogin, d. h. den „zuerst Entstandenen", weil sie ihn des schieferigen Gefüges wegen für einen Gneis hielten, und Gneise nach damaliger Lehrmeinung unbedingt Gebilde der frühesten Urzeit sein mußten. Heute ist die Altersfrage ein Problem, dessen Lösung noch im weiten Felde steht. Während manche Forscher

annehmen, daß die Schmelzflüsse der Alpengranite in der Steinkohlenzeit emporgequollen sind, also ungefähr das gleiche Alter besitzen wie die granitischen Kerne der deutschen Mittelgebirge, verlegen andere diesen Vorgang in weit jüngere Perioden, ans Ende des mesozoischen oder gar ins tertiäre Weltalter. Für einzelne Granitmassive der Alpen, z. B. den Adamello in Südtirol, ist ein so jugendlicher Ursprung nahezu sichergestellt.

Abb. 287. Gneisgipfel des Finsteraarhorns (höchster Berg des Aarmassivs). Dahinter das Agassizhorn (ebenfalls Gneis).

Bei Göschenen, wo der große Gotthardtunnel beginnt, nähern wir uns dem Südrande des Aarmassivs. Von allen Seiten treten himmelhohe Granitmauern herum und schließen das Tal bis auf einen schmalen Durchgang vollständig ab. Hier hat die tobende Reuß in das harte Gestein eine düstere, unheimliche Schlucht gegraben, die ihrer Lawinenstürze wegen so gefährliche Schöllenen. Das steile Einfallen der Schiefer erleichterte dem Wasser die Arbeit und begünstigte die Bildung des tiefen Risses, der unter dem Namen „Teufelstal" bekannt ist. Am Ausgang der Schlucht, wo der Ausblick ins „heitere Tal der Freude", in die friedliche Mulde von Andermatt, sich öffnet, endigt auch der Granit; die weit zurücktretenden Gehänge bestehen aus sedimentären, durch Metamorphose kristallin gewordenen Schiefern und Kalken, deren Alter noch nicht feststeht.

Abb. 288. Ein Teil der Urserenmulde zwischen Gotthard und Aarmassiv. Die Gehänge zu beiden Seiten bestehen aus metamorphosierten Schiefern und Kalken, wahrscheinlich jurassischen Alters. Im Vordergrunde Andermatt.

Wir haben jetzt das Aarmassiv hinter uns, sind aber noch lange nicht bis zur Mitte der kristallinischen Zone vorgedrungen. Durchqueren wir das fast ebene Hochtal von Andermatt, — man nennt es gewöhnlich das Urserental —, so stehen wir nach kurzer Wanderung am Fuß eines neuen mächtigen Granit- und Gneisgebirges. Es ist der Gotthardstock, jener uralte Grenzwall zwischen deutschem und italienischem Volksgebiet, auf dessen Kämmen die Hauptwasserscheide zwischen Nordsee und Mittelmeer verläuft. Seinem geologischen Bau nach ist er ein gewaltiger

Fächer mit steil aufgerichteten Schichten, die sich nach oben ausbreiten und verflachen.

Über den Gotthard zu fahren oder zu gehen, ist seit Eröffnung der Eisenbahn aus der Mode gekommen; die meisten Reisenden begnügen sich mit einem Abstecher durch die wildromantische Schöllenen nach Andermatt oder fahren von dort mit der Post weiter nach der Furka. Es ist wahr, daß der stundenlange Aufstieg zum Gotthardpaß ziemlich einförmig ist und großartige Ausblicke vermissen läßt, erst jenseits des Hospizes, wenn hinter der düsteren Felseneinsamkeit des Val Tremola die südlich bunte Tessiner Landschaft zu Füßen des Wanderers aufleuchtet, mag er sich für seine Mühe belohnt fühlen. Um so abwechslungsreicher ist die Gotthardstraße für den Geologen. Während im Aarmassiv fast überall der gleiche Granit herrscht und Gneise nur untergeordnete Einlagerungen bilden, wechseln im Gotthardfächer verschiedenartige Granite, Gneise eruptiven und sedimentären Ursprungs sowie Mischungen beider Felsarten fortwährend miteinander ab. An der Straße kann man alle diese Gesteine in vorzüglichen Aufschlüssen studieren und eine Mustersammlung mit nach Hause nehmen.

Wie es scheint, hat das Gotthardmagma beim Emporquellen große Mengen Schiefer und Sandstein aufgeschmelzt, deren Stoffe es in sich verarbeitete und mit dem eigenen Schmelzfluß vermischt wieder ausschied. Der merkwürdige Fächerbau, der übrigens auch bei anderen alpinen Massiven, z. B. dem Montblanc, wiederkehrt, erklärt sich wohl daraus, daß der Schmelzfluß um so geringeren Widerstand fand, je höher er emporstieg; in den oberen Lagen konnte er die Schiefer leicht auseinander drängen und die Zwischenräume bauchig erweitern. In der Gegenwart ist die Schieferdecke abgetragen oder abgerutscht, so daß der kristallinische Innenfächer zutage tritt.

Die Schiefer und Kalke des Urserentales bilden eine schmale, zwischen Aar- und Gotthardmassiv eingeklemmte Sedimentzone. Man hat sie im Tunnel 300 Meter unter dem Andermatter Tal wiedergefunden und dort feststellen können, daß die ganze Schichtenfolge in zwei enge, U-förmige Mulden zusammengeschoben ist. Es scheint, als sei die Metamorphose dieser Gesteine vom Gotthardgranit ausgegangen, während das später aufgestiegene Aarmassiv vielleicht den Druck ausübte, der die Urserenschichten in ihre seltsam zusammengequetschte Stellung brachte.

Eine ähnliche, nur weit größere Mulde finden wir am Südabhang des St. Gotthard. Der Gneis endigt mitten im Val Tremola, und nun dehnt sich bis Airolo eine äußerst mannigfaltige Schichtenfolge metamorphosierter Schiefer aus. Es sind zum großen Teil prächtige bunte Felsarten: graue, seidig glänzende Schiefer mit großen eingesprengten Granatkristallen, helle, gneisartige Gesteine, auf deren Spaltflächen eine dunkelgrüne Hornblende in garbenförmigen Büscheln gewachsen ist (sog. Garbenschiefer), hellbraune Schiefer mit zahllosen schwarzen und roten Punkten, jene von Biotit, diese von Granat herrührend. Dazwischen manch unscheinbares Gestein: schwarze und graue Schiefer, Kalke und Quarzfelse, im Tal bei Airolo auch Gips und Dolomit.

Das gesamte Schichtensystem gehört der „inneren Kalk- und Schieferzone der Westalpen" an, die am Golfe von Genua beginnt und in weit geschwungenem Bogen, immer eingeklemmt zwischen zwei mächtige Gneis- und Granitzonen, bis zur schweizerisch-österreichischen Grenze östlich von Chur verläuft (vgl. die Kartenskizze Abb. 291). Aber auch in den Tiroler und Salzburger Alpen tritt sie inselartig auf zwei großen Flächen (Unterengadin, Hohe Tauern) wieder zutage, ja vielleicht ist sie in den dazwischenliegenden Lücken ebenfalls vorhanden, aber bedeckt von darübergeschobenen Gebirgsmassen. Auf diese hochwichtige Frage komme ich weiter unten zurück.

Die langgestreckte Sedimentzone ist keine einheitliche Formation, zeigt vielmehr in ihren einzelnen Teilstrecken verschiedenen Bau und wechselnde Zusammensetzung. In der Ostschweiz besteht sie z. B. zum weitaus größten Teil aus Bündner Schiefern, zu denen manche Geologen auch die oben beschriebenen Gesteine am Südabhang des St. Gotthard rechnen. Dieser Abschnitt der Zone heißt die „Bedrettomulde", nach dem touristisch wenig bekannten Bedrettotal, das von Airolo zum Nufenenpaß emporführt. Die Gotthardschiefer enthalten keine Versteinerungen; weil aber sehr ähnliche Felsarten des Bedrettotals hie und da Reste von Seelilien und Belemniten führen, so fassen die Schweizer Geologen die ganze Schichtengruppe als metamorphosierten Jura auf.

Für das richtige Verständnis des Gebirgsbaus haben in manchen Fällen die großen Tunnelbauten sehr wichtige Aufschlüsse geliefert. Manche Zentralmassive, z. B. der Simplon, zeigen von außen einen scheinbar sehr einfachen, leicht verständlichen Bau, sind aber im Innern

aus verwickelten Falten zusammengesetzt. Von den Beobachtungen am Simplon, die vor einigen Jahren so großes Aufsehen machten und zu einer Art Revolution der Alpengeologie führten, wird unten die Rede sein. Der Gotthard gehört nicht zu diesen trügerischen Gebirgsstöcken, alle beim Tunnelbau durchbrochenen Formationen reichen bis zur Erdoberfläche herauf und können ebensogut im Freien studiert werden. 15 Kilometer ist der Tunnel lang, ebensoviele Minuten braucht der schnellste Expreßzug zur Durchfahrt. Von Göschenen ab liegen die zwei vordersten Kilometer im Granit des Aarmassivs, dann durchbraust der Zug in knapp 3 Minuten die Urserenmulde, um nun in den Hauptstock des Gebirges, ins eigentliche Gotthardmassiv einzutreten, zu dessen Durchquerung er 7—8 Minuten braucht. Die letzten 3 Tunnelkilometer sind in die Schiefer und Dolomite der Bedrettomulde gebrochen.

Der Berg öffnet sich, vorbei an Airolo eilt der Zug abwärts durchs malerische Tessintal und überwindet in zwei großartig angelegten Kehrtunnels die Felsenenge von Dazio Grande, wo der Fluß in schäumendem Fall durch hartes Gneisgestein sich den Weg bricht. Dieser Gneis gehört dem dritten kristallinischen Zentralmassiv an, das wir auf unserer Fahrt durchqueren, dem Tessiner Massiv. Wie ein mächtiger Klotz liegt es am Südabhang der Alpen, hart vor den lachenden Gefilden der oberitalienischen Seen. Seine Täler sind mit wenigen Ausnahmen rauh und einsam, von Reisenden kaum besucht; gibt es doch hoch im Gebirge noch einzelne von der Kultur vergessene Dörfer, zu denen nicht einmal fahrbare Wege emporführen. Der Tessiner „Gneis" ist ein echter schieferiger Granit, hart und hell, fast überall von gleichem Aussehen und Gefüge, darum als Baustein sehr geschätzt, wie die zahlreichen großen Brüche zu beiden Seiten der Eisenbahn kundtun. Sehr einfach und gleichförmig sind auch die Lagerungsverhältnisse: vom Talgrund bis zu den höchsten Bergkämmen, einem Höhenunterschied von 2000 und mehr Meter entsprechend, legt sich eine flach ruhende Gneisbank über die andere. Nur an den Grenzen des Massivs zeigt sich eine oft schwer zu entwirrende Wechselschichtung zwischen Gneis und Bündner Schiefern.

Kurz vor Bellinzona endigt der Tessiner Gneis. Drei turmgekrönte Burgen, deren zackige Mauern von den Bergen herablaufen, überragen die Stadt. Sie sind auf Felsen von dunklem Hornblendegestein gegründet, das hier in schmalem Zuge von Südwesten herankommt und, das Tessintal querend, nach der Bernina zieht. Dieser merkwürdige Gebirgsstreifen nimmt seinen Anfang in der Nähe des oberitalienischen Städtchens Ivrea, das uns schon durch seine großartige Moränenlandschaft bekannt ist, und wird darum der Amphibolitzug von Ivrea*) genannt. Gerade wie die oben besprochenen Schiefermulden ist er fast seiner ganzen Länge nach zwischen Gneismassen eingeklemmt und beschreibt, wie die „innere Schieferzone", einen weit gespannten, gegen die Poebene geöffneten Bogen. Wir sehen, wie der Bau des Gebirges, trotz der zahlreichen Störungen und Unregelmäßigkeiten, doch bestimmten Leitlinien folgt, die immer wiederkehren.

Abb. 289. Die geologischen Zonen der Schweizer Alpen zwischen Bellinzona und Como. Von Nord nach Süd: 1. Tessiner Massiv (Eruptivgneis). 2. Amphibolitzug von Ivrea. 3. Seegebirge (Gneis). 4. Südliche Kalkalpen (Trias, Jura, Kreide, Porphyre und Porphyrite). 5. Südalpine Nagelfluh.

Die Gesteine des Amphibolitzuges, in der Hauptsache wohl eruptiven Ursprungs, widerstehen der Verwitterung außerordentlich gut. Man sieht dies schon bei Bellinzona, wo der Felshügel des Castello Grande, jener alten Zwingburg der Landvögte, mitten im breiten, eingeebneten Tale stehengeblieben ist. Im Gebirge westlich vom Lago Maggiore zeigen die Amphibolitketten ein eigenartiges Relief, das von den Formen der umgebenden Gneismassen auffällig abweicht. Obwohl die Kämme kaum 2000 Meter Höhe erreichen, sind sie so schroff und zackig wie im wildesten Hochgebirge, die Täler eng, krumm und schlundartig, die Felswände trotz ihrer Nacktheit niemals glatt, sondern höckerig, voller Vorsprünge und Run-

*) Amphibolite sind dunkelgrüne, aus Hornblende und Feldspat zusammengesetzte, sehr zähe und verbandfeste Gesteine.

zeln. Der hervorragenden Festigkeit des Gesteins ist es auch zuzuschreiben, daß die Felsen fast gar nicht abbröckeln, daher sind Schutthalden im ganzen Gebiet seltene Erscheinungen.

Die Deutung des Amphibolitzuges gehört zu den schwierigsten Problemen der Alpengeologie. Man hat ihn früher als langgestreckten Graben betrachtet, der bei der Gebirgsfaltung eingesunken und von emporquellenden Eruptivmassen ausgefüllt worden sei. Eine ähnliche Erklärung dürfte auch heute den Vorzug verdienen, nur wird man die vorausgesetzte Senkung beiseitelassen und den Amphibolitzug als Mulde zwischen zwei gehobenen Streifen des Gebirges, also als Seitenstück zur Bedrettomulde, auffassen.

Im südlichen Teil der Schweizer Alpen wechseln die Formationen auf kleinem Raum ungemein rasch. Von Bellinzona bis Lugano ist nur eine kurze Eisenbahnfahrt, auf der wir das vierte und letzte Gneismassiv queren, das vom Langen- zum Comosee hinüberstreichende „Seegebirge". Hier liegen die Gneisbänke nicht wagerecht wie im Tessiner Massiv, sondern sind steil aufgerichtet. Langsam klettert die Eisenbahn an den Hängen des Monte Cenere empor, bald erblickt man tief unten das breite Tessintal, ehemals ein Stück des Lago Maggiore, dann den fjordartig gekrümmten See selbst und das freundliche, auf dem weiten Schuttkegel der Maggia erbaute Städtchen Locarno. Nur kurze Zeit währt der herrliche Blick, dann wird es Nacht, und die Bahn durchbricht den Gneisstock des Monte Cenere in einem langen Tunnel. Jenseits des Berges geht es rasch abwärts nach Lugano, wo die Gebirgslandschaft mit einem Mal ganz anderen Charakter annimmt.

Die kristallinische Zone der Alpen liegt endlich hinter uns. Die einförmigen, sanft gerundeten Gneisrücken sind verschwunden, in steilen Profilen brechen die Berge über dem Luganer See ab, spitze Pyramiden, zackige Grate und Felszähne werden hoch oben sichtbar. Wir haben das Gebiet der südlichen Kalkalpen erreicht, die hier allerdings nur einen schmalen Außensaum des Gebirges bilden, gegen Osten aber, in Südtirol und Venetien, zu einer mächtigen Zone anschwellen. Wie im Norden, z. B. am Vierwaldstättersee, besteht auch dieses Kalkgebirge vorwiegend aus Schichtgesteinen mesozoischen Alters, doch ist deren Gepräge ein ganz anderes als in der Nordschweiz.

Während wir dort Ablagerungen der Trias fast gar nicht zu Gesicht bekamen, nimmt diese Formation im Landschaftsbild der Südalpen einen breiten Raum ein. Dolomite der Trias bauen z. B. die massigen Felsklötze, die zackigen Mauern und Kämme im Norden des Luganer Sees auf. Unter der Trias zeigen sich Ablagerungen der Steinkohlenzeit, ferner bedeutende Decken von Porphyren und Porphyrtuffen, die wahrscheinlich zur Permzeit hervorbrachen. Über der Trias liegen Jura- und Kreideschichten, die einem viel tieferen Meere entstammen als die gleichalterigen Ablagerungen der Nordschweiz.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß auch eine schmale Nagelfluhzone den Südrand der Alpen begleitet. Nagelfluh ist verfestigter Kies und Schotter, entstanden aus den Geröllmassen, die während der jüngeren Tertiärzeit von den Gebirgsflüssen im Vorland abgelagert wurden. Den Nordrand der Schweizer Alpen, vom Thuner See bis zur Mündung des Rheins in den Bodensee, umfaßt eine fast ununterbrochene Nagelfluhkette, deren Schichten, wie wir gesehen haben, steil aufgerichtet sind und stellenweise 1800 m Meereshöhe erreichen. Mit diesem gewaltigen Schuttwall, der selbst ein Teil des Gebirges geworden ist, kann sich die südalpine Nagelfluhzone nicht entfernt messen. Ihre größte Mächtigkeit erreicht sie am Monte Olimpino bei Como, den man kurz hinter der Grenzstation Chiasso in einem 3 km langen Tunnel durchfährt (Abb. 290). Im geologischen Sinn ist dieser Berg das Gegenstück des Rigi, hinter dem er an Höhe und Pracht der Aussicht allerdings weit zurücksteht.

So zeigt sich trotz bedeutsamer Unterschiede eine gewisse Symmetrie im Bau der Schweizer Alpen. Im Norden und Süden schmiegen sich Kalkalpen und Nagelfluhberge in gleicher Reihenfolge an die mächtige, aus Granit, Gneis und kristallinischen Schiefern aufgebaute Zentralzone. Wie können wir uns diese Symmetrie erklären? Die Mittelzone ist offenbar ein stark gehobener Streifen der Erdkruste (sonst könnten nicht Granit und Gneis, die als Tiefengesteine unter einer mächtigen Sedimentdecke erstarrt sein müssen, die höchsten Bergketten bilden), sie ist im großen und ganzen ein langgestrecktes Gewölbe, allerdings von sehr unregelmäßigem Bau. Wo sind nun die Schichtgesteine geblieben, die ursprünglich das Aar- und Gotthardmassiv bedeckten? Man möchte annehmen, sie seien stückweise von beiden Seiten abgerutscht und bildeten nun, in mehreren

Decken übereinander liegend, die nördlichen und südlichen Kalkalpen. Diese Auffassung hat mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß die südlichen Schichtgesteine einem ganz anderen Meer entstammen als die nördlichen, ist aber trotzdem, wie wir später sehen werden, bis zu gewissem Grade berechtigt.

Sind nun die übrigen Teile der Alpen nach demselben Grundplan gebaut? In den Ostalpen finden wir die Symmetrie anscheinend noch viel deutlicher ausgeprägt. In der Mitte eine mächtige kristallinische Zone, deren Kerne die Granit- und Gneismassive der Ötztaler Alpen und Hohen Tauern bilden, nördlich davon, getrennt durch das breite Inntal, die Bayrischen und Nordtiroler Kalkalpen, und auf der anderen Seite die Südtiroler Kalkalpen, zu denen auch das merkwürdige Dolomitengebirge und die mächtige Bozener Quarzporphyrmasse gehören. Diese Symmetrie ist jedoch eine rein äußerliche: nur die nördliche Kalkzone ist ein einheitlicher Gebirgszug, aufgebaut aus intensiv gefalteten, gleichartigen Schichtgesteinen, während die Südalpen den Eindruck hervorrufen, als seien sie aus Massen ganz verschiedenen Ursprungs gleichsam künstlich zusammengeschweißt. Im Norden finden wir fast überall deutlichen Faltenbau, im Süden sind bedeutende Teile des Gebirges überhaupt nicht gefaltet. Dazu gesellen sich manche besondere Züge, die den Südalpen einen fremdartigen, Charakter verleihen, wie die mächtigen Lavaergüsse zur Triaszeit, als im übrigen Alpengebiet vollständige Ruhe herrschte, und das Aufquellen granitischer Lakkolithe (Adamello u. a.), in der Tertiärzeit. Auch die gewaltige Porphyrplatte von Bozen findet ihresgleichen nirgends in den Alpen. Die massigen Felsklötze der Dolomitenberge spielen freilich auch im Landschaftsbild der Nordalpen eine Hauptrolle, ordnen sich hier aber als gleichberechtigtes Glied den übrigen Formationen ein, während sie im Südtiroler Hochland wie ein selbständiges Gebirge aus einer anders beschaffenen Umgebung hervortreten.

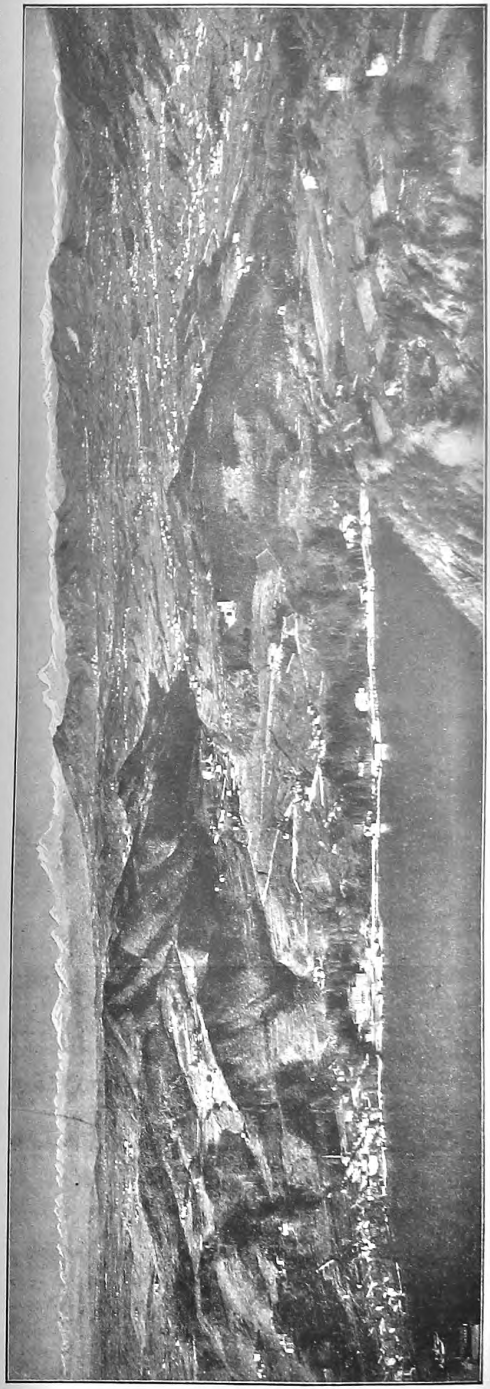


Abb. 290. Südrand der Alpen, gesehen von Brunate bei Como. Ganz vorn ein Stück des Comer Sees, dahinter der Monte Olimpino und andere Nagelfluhberge. Links ist ein Streifen der oberitalienischen Tiefebene sichtbar. Im Hintergrund eine Kette der südlichen Kalkalpen, überragt von den schneeigen Gipfeln der Zentralalpen (Monte Rosa u. a.).

Der eigenartige Aufbau der Südalpen legt die Vermutung nahe, daß sie den eigentlichen Alpen gar nicht angehören, sondern ihnen nur locker angegliedert sind. Sie würden also eine ähnliche Stellung einnehmen wie der Schweizer Jura, der an seiner Wurzel (südlich von Genf) mit den Alpen verwachsen ist, sich aber bald von ihnen trennt und als selbständiger Gebirgszug bis zum Schwarzwald streicht. Die Südalpen beginnen als schmale Kalk- und Dolomitzone westlich vom Lago Maggiore, werden gegen Osten immer mächtiger und

Westalpen zwischen Mittelmeer und Genfer See. Hier treffen wir wieder andere Verhältnisse als in der Schweiz und Österreich. Zweimal wechseln in konzentrischer Anordnung, wie beistehende Kartenskizze zeigt, kristallinische und sedimentäre Zonen, und dieser vierfache Gebirgsbogen legt sich wie ein ungeheurer Halbmond um die oberitalienische Tiefebene.

Sehr bezeichnend für die Westalpen ist, daß an ihrem Innenrand (d. h. in der Höhlung des Halbmonds) die niedrigen, zwischen Tiefland und Hochgebirge vermittelnden Vorberge

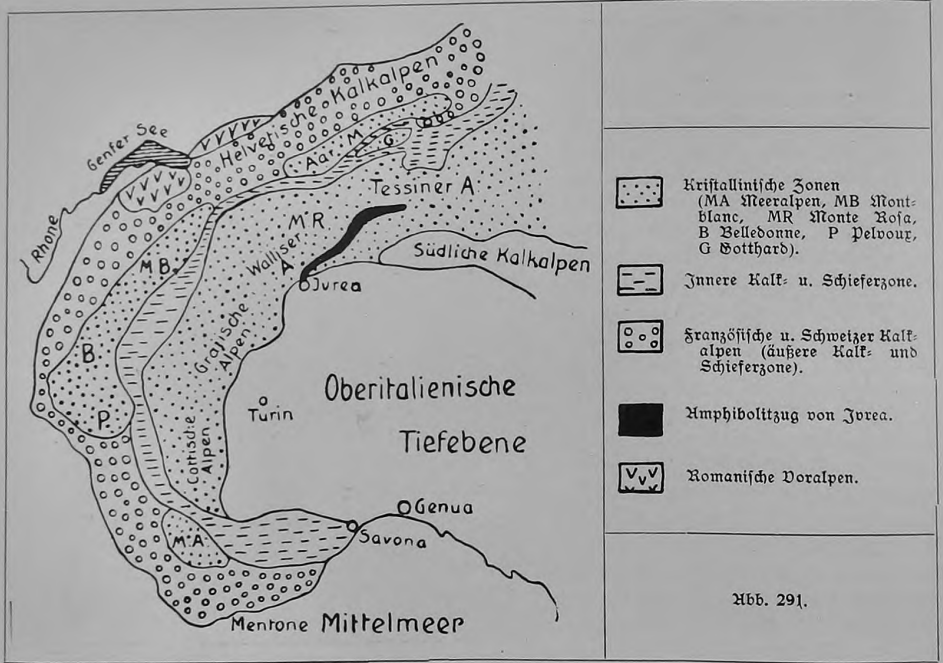


Abb. 291.

gehen ohne scharfe Grenze in den Karst und weiterhin in die Dinarischen Alpen an den Küsten Dalmatiens über. Auch hier ist das Ende noch nicht erreicht: die Ketten streichen weiter südlich durch Albanien und Griechenland; Pindus, Öta, Parnaß, Taygetos sind einige ihrer Zweige. So kommt von der Balkanhalbinsel ein großartiges System von Faltenzügen herauf und schmiegt sich, nach Westen umbiegend, an den Südrand der alpinen Zentralmassive. Die Kalkalpen Südtirols und der Lombardei sind gleichsam die letzten und höchsten Verzweigungen dieses mächtigen Gebirgsbaumes, der weit unten, in den blauen Tiefen des Ägäischen Meeres, seine Wurzeln hat.

Nun bleiben uns noch die eigentlichen fehlen. Kalk-, Flysch- und Nagelfluhberge, die in den übrigen Teilen der Alpen wie Außenwerke die kristallinischen Massive umranden, scheinen hier in die Erde versunken; unmittelbar aus dem warmen Tiefland streben die Gneismauern der Cottischen, Grajischen und Walliser Alpen in die Regionen des ewigen Schnees empor. Wenige Wegstunden nur trennen die üppige Landschaft des Südens mit ihren Weinbergen, Reis- und Maisfeldern von den rauhen Einöden des Hochgebirges, wo nur eine kümmerliche, arktische Pflanzenwelt gedeiht. Einen prachtvollen Gesamtblick auf den großartigen, das Land im Halbkreis abschließenden Steilabsturz hat man von der Kuppel der vielbesuchten Superga bei Turin.

Der Bau der Westalpen ist in seinen Grundzügen verhältnismäßig leicht zu übersehen und liefert auch einige Andeutungen zum Verständnis der weiter östlich gelegenen Gebirgsteile. Die vier konzentrischen Zonen lassen sich bis in die Schweizer Alpen, ja die eine bis nach Tirol und Salzburg verfolgen. Die innerste, schroff aus dem Tiefland aufragende Gneiszone reicht als breiter, zusammenhängender Gürtel bis zum Tessiner Massiv, das ihr östliches Endglied bildet. Ihr höchster Gipfel ist der bis zu 4638 m ansteigende Monte Rosa.

Auf der Rückseite wird die „Zone des Monte Rosa", wie man sie auch wohl nennt, von einem Gürtel von Schichtgesteinen umschlossen. Hier treffen wir dunkle Glanz- und helle Kalkschiefer, eigentümliche grüne Schiefer, körnigen Kalk, Dolomit und Gips, kurz Gesteine, die wir früher als charakteristisch für die „Bündner Schiefergruppe" kennen gelernt haben. Wie die Karte zeigt, stehen die beiden Schiefergebiete tatsächlich miteinander in Verbindung: durch einen schmalen Streifen, der dem Rhone- und Bedrettotale folgt. Die „innere Schieferzone" reicht also im Zusammenhang von Genua bis zum Rhein bei Chur; hier tritt sie gewissermaßen in einen Tunnel und erscheint von neuem im Unterengadin (vgl. die Karte auf S. 350). Ob sie sich noch weiter unterirdisch fortsetzt und in den Tauern wieder zum Vorschein kommt, steht noch nicht sicher fest, darf aber als sehr wahrscheinlich gelten. Dieser bis zum Engadin an 900 km lange Gürtel metamorphosierter Schichtgesteine ist gleichsam der rote Faden im verworrenen Gewebe der alpinen Faltungen, Gleitungen und Überschiebungen.

Ihn umschließt ein zweiter Gneis- und Granitgürtel, der aber einen anderen Bau besitzt als die kristallinische Zone der Cottischen, Walliser und Tessiner Alpen. Die kristallinischen Gesteine sind hier nicht als breiter, zusammenhängender Gebirgsbogen entwickelt, sondern tauchen wie eine Kette aneinander gereihter Inseln aus den sedimentären Gebirgsmassen empor. Der Gürtel zerfällt also in eine Anzahl selbständiger Zentralmassive, die durch niedrigere Schiefer- und Kalkberge voneinander getrennt sind (vgl. die Karte). In den granitenen Kernen steigt das Gebirge zu außerordentlichen Höhen an; gehört doch der König der Alpen und europäischen Gebirge überhaupt, der majestätische Granitdom des Montblanc, dieser Zone an. Die wichtigsten Glieder der kristallinischen Kette sind von Süd nach Nord: Meeralpen, Pelvoux, Grandes Rousses, Montblanc und das im Finsteraarhorn gipfelnde Aarmassiv.

Wie die Glarner und Berner Kalkalpen dem Aarmassiv, so sind den Granitgewölben des Pelvoux und Montblanc die Dauphineer und Savoyer Kalkketten vorgelagert. Sie bilden eine Strecke weit den Außenrand des Halbmondes der Westalpen, machen aber die scharfe Schwenkung gegen Osten nicht mit, sondern trennen sich unweit Grenoble von den Alpen und ziehen jenseits der Schweizer Hochebene als selbständiges Gebirge, genannt Schweizer oder Französischer Jura, bis zum Schwarzwald.

Zweites Kapitel. Der Deckenbau der Alpen.

Ungefähr bis zur letzten Jahrhundertwende haben die Geologen sich umsonst abgemüht, den Faden der Ariadne im Labyrinth der alpinen Tektonik zu finden. Ein paar Jahrzehnte früher schien es allerdings, als befände sich die Wissenschaft auf dem richtigen Wege. Das war um die Zeit, als Heims großangelegtes Werk über den „Mechanismus der Gebirgsbildung" erschien (1878), worin der Verfasser die Entstehung der Kettengebirge durch Annahme eines aus einem Guß entstandenen Faltenwurfs zu erklären versuchte. Nach dieser Theorie waren die gesamten Alpen eine ununterbrochene Folge von Sätteln und Mulden. Fehlten — was sehr häufig vorkam — die notwendigen Zwischenstücke, so verlegte man sie in die Erdtiefe oder nahm an, sie seien ursprünglich dagewesen, im Lauf der Zeit aber von der Erdoberfläche wegerodiert worden. So kam man dazu, schematische Profile zu zeichnen, auf denen es von hypothetischen „Luftsätteln" und unterirdischen Verbindungsstücken wimmelte.

In den beiden folgenden Jahrzehnten stellte sich nun immer deutlicher heraus, daß die Faltentheorie keineswegs der eifrig gesuchte, auf alle Verhältnisse anwendbare Schlüssel der alpinen Tektonik war. Eine bedeutende Zahl neuer Beobachtungen ließ sich nur unter Annahme ebenso verwickelter wie unnatürlicher Schichtenverzerrungen mit der alten Auffassung

in Einklang bringen. Vor manchen Erscheinungen, z. B. den Klippen der Nordschweiz, stand man überhaupt ganz ratlos da, und weite Gebiete, namentlich in den Zentralalpen, spotteten aller Mühe, die man sich gab, den ihnen zugrunde liegenden Bauplan zu ergründen. „Die Alpen", schreibt Termier, Professor der Geologie in Paris, „waren ein Chaos, man wagte kaum über sie mit den Studierenden zu sprechen."

Seit etwa zehn Jahren ist das allmählich anders geworden, die Finsternis hat sich gelichtet, und der langgesuchte Schlüssel scheint glücklich gefunden zu sein. Die moderne Auffassung läßt sich, wie folgt, zusammenfassen. Sieht man ab von den Südalpen, die ja wahrscheinlich ein selbständiges Gebirge vorstellen, so ist in den Alpen zweierlei Land streng zu unterscheiden: erstens autochthones (hier soviel wie „seßhaftes"), an seinem Ursprungsort verbliebenes Gebirge, und zweitens Deckenland, bestehend aus Schichtmassen, die über das autochthone Gebirge hinweggewandert sind und heutzutage oft weit von ihrer Geburtsstätte entfernt liegen. Autochthon sind vor allem die wichtigsten Zentralmassive: Montblanc, Aar- und Gotthardmassiv, Hohe Tauern usw.; sie wurzeln in der Tiefe und sind höchstens ein wenig nach Norden übergelegt. Zum Deckenland gehören beispielsweise die Kreideketten der Nordschweiz, die Bayrischen und Nordtiroler Kalkalpen.

Zum besseren Verständnis der Deckenbildung möge die beistehende schematische Zeichnung (Abb. 292) dienen. Wir sehen eine Mulde („Synklinale") zwischen zwei Gewölben (Antiklinalen, G_1 u. G_2). In der Mulde haben wir uns ein ziemlich tiefes Meer zu denken, an dessen Grund die Sedimente S auf normalem Wege abgelagert worden sind. Diese Sedimente sind also autochthon, ebenso wie alle am Aufbau der beiden Gewölbe und der Mulde beteiligten Gesteine.

Nun aber kommen die am Abhang des steileren Gewölbes G_1 lastenden Schichten P ins Gleiten, schieben sich über die ruhenden Sedimente S und füllen das Meeresbecken zum Teil aus. Ist das Becken nicht allzu breit, so können sie bis zum jenseitigen Abhang vorstoßen und liegen nach eingetretener Ruhe als wurzellose Decke D über den oft jüngeren Sedimenten S.

Da der ganze Vorgang unter Wasser stattfindet, so werden sich auf den abgeglittenen Schichtmassen D wiederum Sedimente (s) ablagern, die mit den früher abgesetzten übereinstimmen. Die Decke lagert also zwischen zwei Schichtkomplexen von gleichem Charakter (S und s).

Wird in einer späteren Periode das ganze Gebiet Festland, so setzen Abtragung, Eis- und Wassererosion ein, und es kann sich ein vielgestaltiges Relief herausbilden.

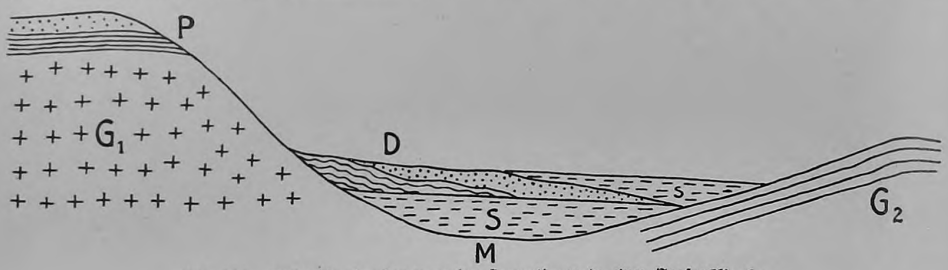


Abb. 292. Deckenförmige Lagerung der Formationen in einer Geosynklinale.

In den Alpen haben jedoch spätere Erdbewegungen die Lagerung der Decken oft dermaßen gestört, daß die ursprünglichen Verhältnisse kaum zu ergründen sind und die Unterscheidung zwischen autochthonem und Deckenland in manchen Gegenden noch ganz unsicher ist. Immerhin zeigen Profile wie Abb. 293, daß die Decken in alte, schon vorher existierende Mulden hinabgeglitten sind. Die ursprünglichen Niveauunterschiede wurden durch die Deckenbildung zum großen Teil ausgeglichen.

Die Rolle der autochthonen, ruhenden Sedimentschichten (S auf Abb. 292) übernimmt in vielen Fällen der Flysch, jene mächtige, einförmige Sandstein- und Schieferformation am Nordrand der Alpen. Für eine große Zahl von Bergen ist die Wurzellosigkeit, ihr „Schwimmen" auf dem Flysch, mit Sicherheit bewiesen. Von den großen, ortsfremden Klippen, den Mythen, war schon oben die Rede; auch der mächtige Glärnisch, ein aus Trias-, Jura- und Kreideschichten aufgebauter Gebirgsstock, liegt wurzellos auf einem Sockel von tertiärem

Flysch. Die enorme Kalkmasse des Urirotstocks ist von Süden her hoch über Tödi, Windgällen, Titlis usw. hinübergewandert und schwimmt jetzt auf jüngeren Kreide- und Flyschschichten. Sehr deutlich tritt der Deckenbau auch in Profilen des Gebirges zwischen dem Prätigau (Graubünden) und den Ötztaler Alpen hervor (Abb. 296).

Hier erhebt sich der gewaltige, firnbedeckte

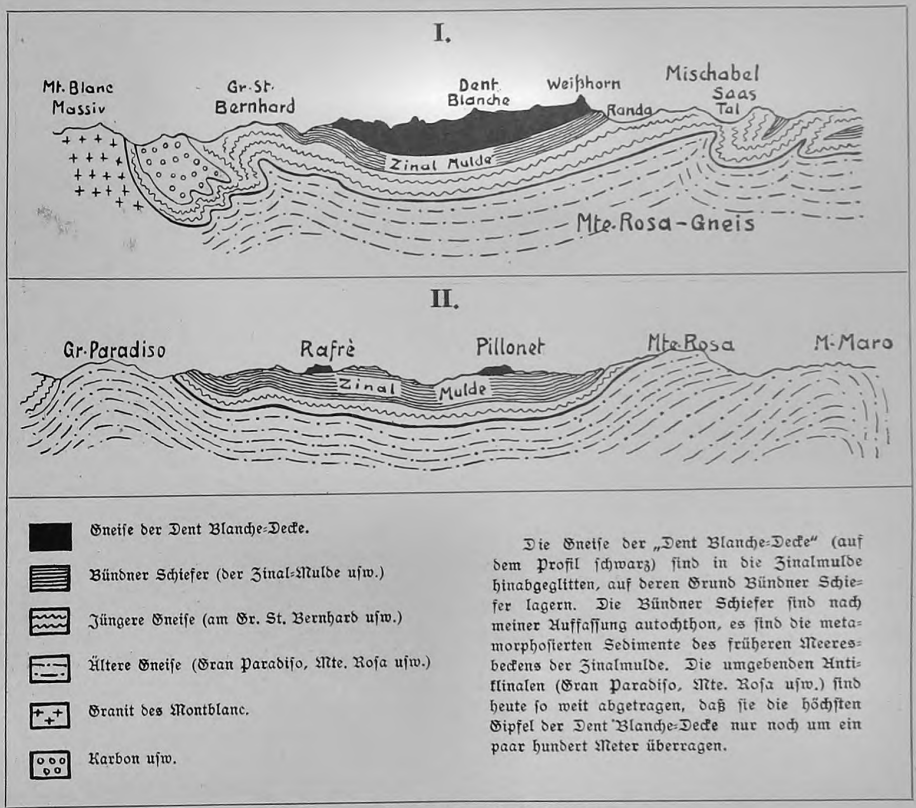


Abb. 293. Zwei Profile durch die Walliser Alpen.

natur des Silvrettamassivs. Die Unterlage des Ganzen bilden die Bündner Schiefer, eine aus verschiedenfarbigen Schiefern, Kalken und grünen Eruptivgesteinen aufgebaute Formation. (Nach Ansicht mancher Geologen wäre diese scheinbar autochthone Unterlage selbst wieder eine tiefere Decke, ruhend auf der unterirdischen Fortsetzung des „helvetischen" Kalkgebirges, das jenseits des Rheines in den Glarner Alpen ans Tageslicht kommt. Es fehlt jedoch an sicheren Beweisen für diese Auffassung.)

Silvrettastock, der im Fluchthorn bis 3403 m ansteigt und ganz aus kristallinen Schiefern (Gneisen, Glimmerschiefern, Hornblendegesteinen) aufgebaut ist. Wer die majestätischen Bergkolosse der Silvretta, Fluchthorn, Piz Buin, Vallüla usw., aus eigener Anschauung kennt, wird sich nur schwer an den Gedanken gewöhnen, daß dieses scheinbar „felsenfest" im Untergrund wurzelnde Massiv nichts weiter sein soll als ein loses, irgendwo abgerissenes und weit hergeschleiftes Stück der Erdrinde. Und doch besteht nicht der mindeste Zweifel an der Decken-

Um nun den merkwürdigen Aufbau des Silvrettagebirges kennen zu lernen, wählen wir als Ausgangspunkt unserer Exkursion den Kurort St. Antönien im Prätigau. Ringsum bestehen die niedrigen, sanft abgerundeten Vorberge durchweg aus Bündner Schiefern vom gleichen Charakter wie bei Chur und im übrigen Prätigau; es sind dunkle, oft prächtig glänzende Kalkschiefer, die man allgemein zum Flysch rechnet. Blickt man aber vom Dorf

hinauf nach der Gempifluh, so erkennt man über dem Flysch einen leuchtend weißen Streifen (Abb. 294), der sich nach rechts und links weit am Gehänge verfolgen läßt. Dieses helle Band, gebildet von Kalken der oberen Juraformation (Tithon), ist die erste, dem Flysch auflagernde Decke, genannt Klippendecke, weil die Klippen der Nordschweiz mit ihr zusammengehören.

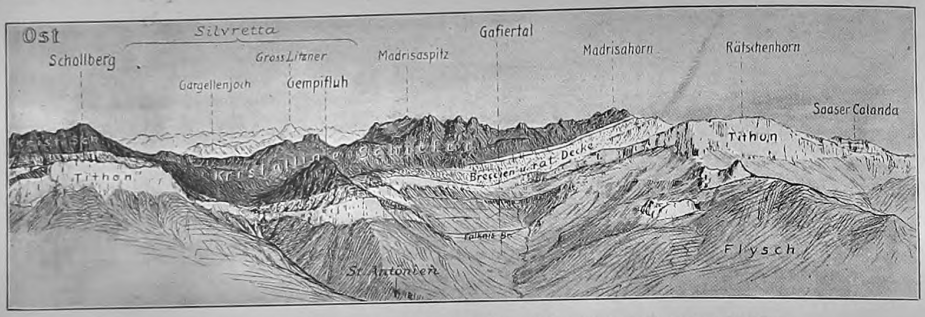


Abb. 294. Blick vom Kühnihorn bei St. Antönien auf das Deckengebirge des Rätikon.
In der Tiefe der Flysch des Prätigaus, zunächst darüber die weiße Klippendecke (Tithonkalk), noch höher die Breccien- und die rätische Decke eng miteinander verkettet (punktiert). Zu oberst, als höchste Decke, die kristallinischen Schiefer des Silvrettastocks (dunkel). (Nach v. Seidlitz.)

Weiter nördlich, im Kalkgebirge des Rätikon, erlangt die Klippendecke bedeutende Mächtigkeit, dehnt sich bis zu den höchsten Gebirgskämmen empor und baut eine Reihe schroffer, touristisch berühmter Gipfel auf: Sulzfluh, Drusenfluh, Kirchlispitzen usw.

Über den leuchtenden Tithonkalken folgt eine zweite, aus dunklen Schiefern, roten Hornsteinen, gelben Dolomiten, grünen Eruptivgesteinen sehr bunt zusammengesetzte Decke (auf Abb. 294 als Breccien- und rätische Decke bezeichnet). Sie hebt sich vom darunterliegenden Jurakalk weniger deutlich ab als von den tief dunklen kristallinischen Schiefern, die sich nun als dritte und höchste Decke über das

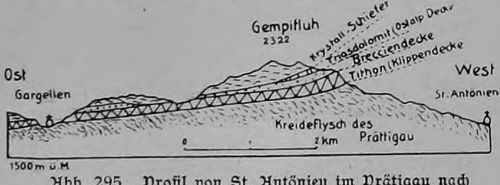


Abb. 295. Profil von St. Antönien im Prätigau nach Gargellen im Montafon.

Ganze legen. Schon der Kopf der niedrigen Gempifluh besteht aus kristallinischem Fels und ist ein abgetrenntes Stück des Silvrettamassivs; dasselbe gilt von dem im Hintergrunde aufragenden, wild zerrissenen Madrisakamm. Unter diesen Gesteinen verschwinden Klippen- und Brecciendecke, kommen aber — das ist das Wesentliche — am jenseitigen Abhang des Gebirges, bei Gargellen im Montafon, wieder zum Vorschein (vgl. das Profil Abb. 295).

Steigt man von der Gempifluh nach Gargellen ab, so erreicht man etwa auf halbem Wege, bei der Gargellenalp, eine Senkung des Gebirges, in deren Grund der Tithonkalk sichtbar wird, während die zu beiden Seiten aufragenden Felswände aus Silvrettagneis und Glimmerschiefer bestehen. Hier ist also eine Öffnung in der Silvrettadecke, durch die man in die darunter liegenden Schichten (Klippendecke) hinabsieht. Eine solche Öffnung heißt in der Fachsprache „Fenster". Setzen wir den Abstieg fort, so gelangen wir bald an ein bedeutend größeres Fenster: beim Dorf Gargellen selbst ist das Tal so tief eingeschnitten, daß nicht nur der Jurakalk, sondern an den untersten Gehängen sogar die Bündner Schiefer, die Flyschgesteine des Prätigau, ans Tageslicht kommen. Wir sehen gleichsam durch zwei oder (mit der Brecciendecke) durch drei Decken hindurch auf den Untergrund des Gebirges.

Es ist also kein Zweifel möglich: Jurakalk und Flysch streichen wirklich unter den kristallinischen Kämmen durch bis ins Montafon. Die stolze Madrisa hat keine Wurzel, sie schwimmt auf tieferen Decken. Im ganzen Gebiet herrscht durchaus verkehrte Lagerung: unten der Kreideflysch, in der Mitte Juragesteine und oben die kristallinischen Schiefer, deren Alter zum mindesten in die Steinkohlenzeit, wahrscheinlich aber in eine noch viel frühere Periode zurückgeht.

An den östlichen Abhängen des Gargellentals tauchen Bündner Schiefer und Tithon-

kalk wieder unter die Gneise und Glimmerschiefer der Silvrettamasse. Was wird nun weiterhin aus ihnen? Rund 35 km (in der Luftlinie gemessen) müssen wir nach Osten wandern, bis sie uns am Fuß des gewaltigen Fluchthorns, im obersten Fimbertal, wieder begegnen (vgl. das Profil Abb. 296). Hier, an der Ostgrenze des Silvrettagebirges, tauchen die Schiefer abermals unter dem kristallinischen Gestein hervor und wölben sich nun, ihrer Last entledigt, zu einem selbständigen Bergzug empor, der sich zum Inn hinüberstreckt und in dem fast 3300 m hohen Muttler gipfelt. Fast das gesamte Unterengadin (von Prutz bei Landeck bis Guarda) wird von diesen Schiefern sowie von den mannigfachen, bunten Gesteinen der rätischen Decke beherrscht.

Das ganze Silvrettamassiv liegt also in einer ungeheuren Mulde der Bündner Schiefer und rätischen Gesteine, ungefähr wie ein riesiger Kuchen auf flach gewölbter Schüssel. Staunen ergreift uns beim Gedanken an die unvorstellbar gewaltigen Kräfte, die fähig waren, ein so kolossales Massiv von seiner Wurzel loszureißen und viele Kilometer weit auf andere Erdschichten hinüberzustoßen. Kennen wir überhaupt Kräfte, die ein solches Riesenwerk vollbringen können? Manche Geologen verneinen die Frage und glauben aus diesem Grunde, die ganze Deckentheorie ablehnen zu sollen. Aber der Deckenbau der Alpen ist nun einmal eine Tatsache, vor der man die Augen nicht länger verschließen darf, wenn es auch mit der Erklärung noch ein wenig hapert. Auf die modernen Theorien der Gebirgsbildung komme ich im letzten Kapitel dieses Abschnitts zu sprechen.

Wer unserer Darlegung bis hierher gefolgt ist, wird fragen, ob denn auch die Klippendecke, der leuchtende Tithonkalk der Sulzfluh, im Engadin wieder zum Vorschein kommt. Sie müßte logischerweise im Fimbertal zwischen Gneis und Bündner Schiefern sichtbar werden, fehlt aber hier wie auch im Engadin vollständig. Darin darf man aber keinen Beweis gegen die Deckentheorie sehen. Wahrscheinlich keilt der Tithonkalk unter dem Silvrettamassiv aus oder wendet sich, für uns unsichtbar, den Südalpen zu, wo er in weiter Verbreitung zu finden ist.

Eine wichtige Erkenntnis bleibt uns zum Schluß unserer Exkursion noch vorbehalten. Blicken wir von einem Aussichtspunkt im Unterengadin gen Osten, so sehen wir über den niedrigen Schieferbergen jenseits des Inn hohe, schroffe Gebirgsmauern aufragen: die Ötztaler Alpen. Unter diesem Gneismassiv, das ihnen den Weg verstellt, verschwinden die Bündner Schiefer wiederum in der Tiefe (vgl. Abb. 296). Daraus folgt, daß das Unterengadiner Schiefergebiet nichts anderes ist als ein großes, in die kristallinische Zentralzone der Ostalpen gebrochenes Fenster. In der Gneisdecke klafft hier eine kolossale Lücke, 55 km lang und bis zu 25 km breit. Diesem „Fenster" gegenüber erscheint das oben geschilderte Fenster von Gargellen wie ein winziges Guckloch.

Vergebens sucht man das Rätsel zu lösen, wie eine so große Öffnung entstanden sein mag. An Erosion ist nicht zu denken. Die Gneisdecken müssen sich während ihrer Bewegung in zwei Arme gespalten haben, zwischen denen ein Raum frei blieb, der nicht bedeckt wurde. Hinter dem Fenster, in der Gegend von Landeck, schlossen sie sich wieder zusammen. Von den Ursachen dieser seltsamen Teilung und Wiedervereinigung können wir uns bis jetzt noch keine Vorstellung machen.

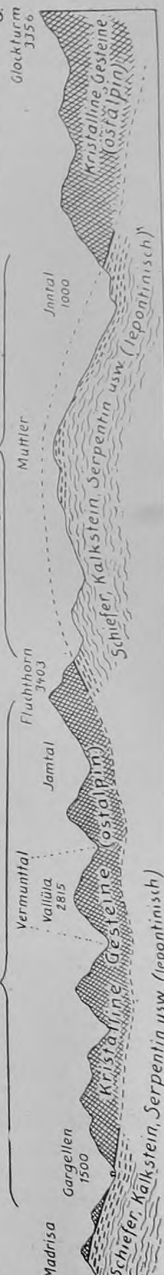


Abb. 296. Profil vom Prättigau zu den Ötztaler Alpen.
Die Schiefer, Kalksteine usw. des Prättigaus verschwinden unter der kristallinischen Masse der Silvretta, tauchen im Unterengadin wieder darunter hervor, sind bis zur Höhe des Muttler aufgewölbt und verschwinden endlich unter den Ötztaler Alpen. (Nach Steinmann.)

Drittes Kapitel. Die Faziesbezirke der Alpen.

Auf dem schmalen Streifen der Alpen zwischen Oberrhein und Inn tritt der Deckenbau des Gebirges mit wunderbarer Klarheit hervor, aber es gibt auch wiederum Gebiete, in denen man sich selbst mit Hilfe der neuen Auffassung nur schwer zurechtfindet. Spätere Störungen haben das Bild verwischt, oder es ist an der Oberfläche nur eine einzige mächtige Decke sichtbar, die von den Bergspitzen bis auf den Grund der Täler

charakteristische Fazies (d. h. abweichendes Gepräge) der Felsarten und Versteinerungen auszeichnet. Betrachten wir auf der nebenstehenden Karte die Ausdehnung der einzelnen Bezirke, so treten sehr auffällige Unterschiede zwischen Ost- und Westalpen hervor. Der helvetische nimmt in Frankreich und in der Schweiz einen breiten Raum ein, schwindet dann jenseits des Rheins zu einem schmalen Streifen zusammen,

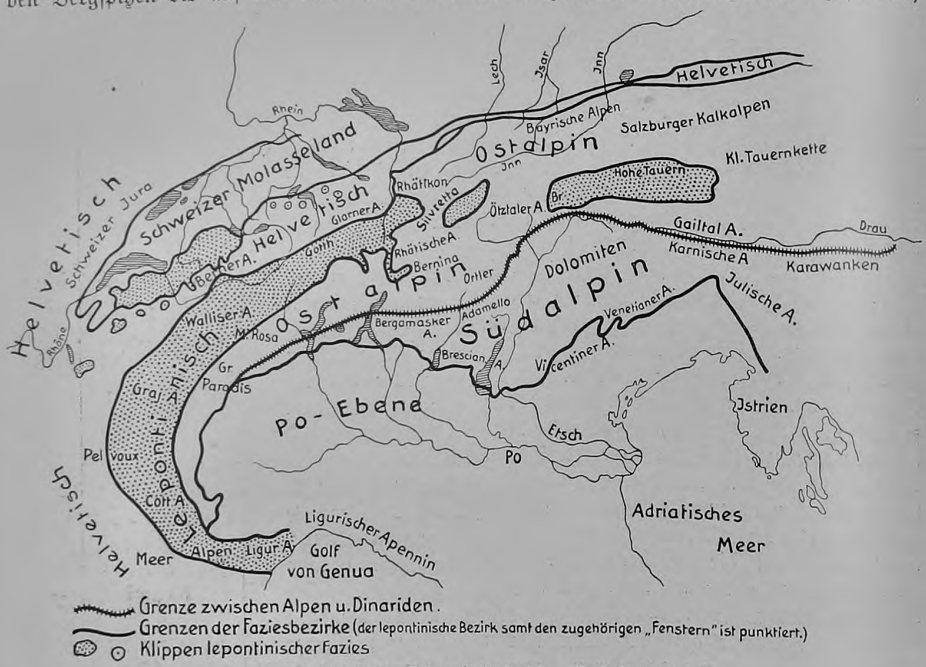


Abb. 297. Karte der alpinen Faziesbezirke. (Nach Steinmann.)

reicht und den Bau des tieferen Gebirges vor unseren Blicken verhüllt. Da kann es nicht wundernehmen, wenn in manchen Teilen der Alpen die Frage, ob autochthones Gebirge, ob Deckenland, noch unentschieden ist und der Kampf der Meinungen heftig hin- und herwogt. Als Beispiele solcher strittigen Gebiete nenne ich die Hohen Tauern, sowie die Nordtiroler und Salzburger Kalkalpen.

Die Anhänger der Deckentheorie unterscheiden vier geologisch grundverschiedene Bezirke der Alpen, den südalpinen, ostalpinen, lepontinischen und helvetischen. Man nennt sie „Faziesbezirke", weil ein jeder von ihnen sich durch

der wie eine Einfassung den Nordrand der Bayrischen und Salzburger Kalkalpen begleitet. Umgekehrt verbreitern sich die ost- und südalpinen Bezirke gegen Osten ganz gewaltig, so daß sie auf österreichischem Gebiet fast die gesamte Breite des Gebirges einnehmen. Seltsam gekrümmt und zerrissen, stellenweise in einzelne Schollen aufgelöst, ist der lepontinische Streifen. Diese eigentümliche Verteilung der Faziesbezirke erklärt sich, wie wir sehen werden, aus dem Deckenbau.

Wie unterscheiden sich nun die einzelnen Bezirke?

1. Der südalpine Bezirk führt eigentlich seinen Namen mit Unrecht, denn er bildet,

wenigstens nach moderner Auffassung, ein *selbständiges, von den Alpen grundverschiedenes Gebirge*. Die von Dalmatien herrüberstreichenden Kalkketten der „Dinariden" schmiegen sich im oberen Gail- und Drautal dicht an die Ostalpen und schwellen in *Südtirol* zu einer mächtigen Gebirgsmasse an, deren bunte Zusammensetzung aus Dolomitstöcken, Kalkketten, Porphyrplateaus, Sandsteindecken, Granitmassiven, dunklen Lavagesteinen, blättrigen Phylliten usw. von jeher die Verwunderung der Geologen erregte. Ein Reisender, der die Brennerbahn zur Fahrt nach Süden benutzt, wird ungläubig den Kopf schütteln, wenn man ihm mitteilt, daß der Zug bei *Mauls**) die Alpen verläßt und in ein anderes, ein *südeuropäisches* Gebirge eintritt. „Hier ist doch keine Spur einer Grenze!" wird er einwenden.

Eine Grenze ist schon da, nicht nur in den Formationen, auch im Terrain prägt sie sich deutlich aus, aber man muß Augen dafür haben! Bei Mauls endigt der breite, wiesenbedeckte Talboden, an dessen oberem Ende das altertümliche Sterzing liegt; die Talwände rücken zusammen, stellenweise so eng, daß eine wahre Schlucht entsteht, die aus dem Tiroler Freiheitskriege bekannte „Sachsenklemme". Blicken wir auf das Gestein zu beiden Seiten des Engpasses, so erkennen wir auch hier einen plötzlichen Wechsel. Die weichen, blätterigen Kalkschiefer, die den Bau der Brennerbahn so erschwerten, sind verschwunden, und praller, weißer *Granit* ist an ihre Stelle getreten. Große Steinbrüche werden rechts und links von der Bahn sichtbar. Wo dieser Granit beginnt (etwas hinter Mauls), liegt die Grenze zwischen Alpen und Dinariden; der Granit ist schon dinaridisch.

Abb. 298. Die Nordwand der Benediktenwand in den Bayerischen Alpen.
Beispiel für die ungeheure Mächtigkeit der ostalpinen Trias (hier Wettersteinkalk). H. Dopfer phot.

Die Grenze wird von den meisten Geologen als ein *gewaltiger Bruch* der Erdrinde aufgefaßt. In den österreichischen Alpen ist der Verlauf dieser Bruchlinie gut bekannt (vgl. die Karte); sie verläuft zunächst etwas südlich der Drau, folgt später der Gail und im Pustertal der Rienz, erreicht in der Gegend von Mauls ihren nördlichsten Punkt und wendet

*) Haltestelle der Brennerbahn zwischen Sterzing und Franzensfeste.

sich dann südwestlich gegen Meran. Von hier streicht sie über den bekannten Tonalepaß, zwischen Ortler und Adamello durch, ins Veltlin. Überall, wo man die Linie überschreitet, ändert sich der geologische Charakter des Landes in auffallender Weise: hüben ein stark gefaltetes Gebirge von einheitlichem Charakter, drüben ein Bruchland mit spärlichen, ungeordneten Falten, das aus ganz verschiedenartigen Schollen zusammengesetzt ist. Nur im Süden, in der Nachbarschaft der Lombardei, werden die Falten zahlreicher.

Auch das Gepräge der permischen und mesozoischen Sedimente ist im Süden der dinarischen Grenze ein ganz anderes als im Norden. Vom Veltlin an wird die Grenze undeutlich, spätere Bewegungen der Erdrinde scheinen sie verwischt zu haben. Das dinarische Gebirge reicht noch als schmale, spitz zulaufende Zunge bis in die Gegend von Ivrea, mit anderen Worten: es versinkt allmählich in die italienische Tiefebene. Der Punkt, wo die letzten Ausläufer unter den Schuttmassen der Poebene verschwinden, ist noch nicht bekannt.

2. Das ostalpine Faziesgebiet besitzt, wie schon mehrfach erwähnt, eine viel einförmigere Zusammensetzung. Wo man auch das weit ausgebreitete Gebirge durchquert, begegnet man nur zwei herrschenden Formationen: kristallinischen Schiefern (Ötztaler, Silvretta-, Adulamassiv usw.) und Sedimenten aus der Triaszeit, vorab Kalken und Dolomiten, die durch gewaltige Mächtigkeit verblüffen (Ortler, Nordtiroler, Bayerische, Salzburger Kalkalpen u. a.).

Fast das ganze ostalpine Gebirge wird heute als Deckenland aufgefaßt. Die Decken kamen von Süden gewandert und breiteten sich zunächst über die Bündner Schieferzone aus. Die „Fenster" von Gargellen und dem Unterengadin beweisen, daß die Schiefer tatsächlich unter den ostalpinen Schubmassen durchstreichen. Eine noch weit größere Lücke öffnet sich im Herzen der Ostalpen, in den Hohen Tauern, wo die Bündner Schiefer plötzlich wieder auftauchen. Hier sind die Decken, ähnlich wie im Unterengadin, zerrissen, und in der klaffenden Wunde werden die Eingeweide des Gebirges sichtbar: der Granit- und Gneiskern der Hohen Tauern mit seinem Schiefermantel.

Wie nun die ostalpinen Decken weiter nach Norden vorstießen, überschritten sie den Rand der lepontinischen Unterlage und kamen auf helvetische Schichten zu liegen, d. h. auf Sedimente der Jura- und Kreidezeit, wie man sie aus den Glarner Alpen und dem Säntisgebirge kennt. Die Decke ist aber ein wenig zu kurz geraten, denn am äußersten Nordsaum des Gebirges lugt noch ein schmaler Streifen helvetischer Kreidegesteine unter ihr hervor (vgl. die Karte). Davon später mehr bei Besprechung des helvetischen Bezirks.

Unter den Nordtiroler und Salzburger Kalkketten liegt also ein anderes Gebirge begraben, ein Gebirge, das die Fortsetzung der Schweizer Alpen bildet. D. h., man vermutet es, denn in diesem Gebiet gibt es keine Fenster, die einen Einblick in die unzugängliche Tiefe gestatten. Bewiesen oder widerlegt könnte die Annahme nur werden, wenn man an geeigneten Stellen einige Tiefbohrungen ausführte. Leider fehlt es der Geologie für so kostspielige Unternehmungen an dem nötigen Kleingeld.

3. Der lepontinische Bezirk ist der interessanteste des gesamten Gebirges. Als zusammenhängende Zone, gekrümmt wie eine Sichel, reicht er von Genua bis zum Westabhang der Silvretta, wo er unter die ostalpinen Gneisdecken taucht. Im übrigen ist er mit dem ostalpinen und helvetischen Bezirk auf die seltsamste Art verquickt; dort bildet er die früher geschilderten Fenster, hier die merkwürdigen Klippenberge (Mythen, Iberg, Stanserhorn u. a.) der Nordschweiz. Man kann sie mit Inseln vergleichen, die auf dem helvetischen Flyschmeer schwimmen. Die größte der lepontinischen Inseln finden wir in der Umgebung des Genfer Sees, ein 100 km langes, 30 km breites Gebirge, das von der Arve zum Thunersee zieht und im Niesen, dem berühmten Aussichtsberg, fast 2400 m Höhe erreicht.

Schon lange wußte man, daß dieses Bergland, genannt die romanischen Voralpen, eine Ausnahmestellung einnimmt. „Ruinenhaft und trotzig ragen die schroffen Kalkberge aus den grünen Matten des Flyschlandes und erwecken den Anschein, als seien hier ursprünglich geschlossene Kalkketten zerborsten" (Steinmann). Im Charakter der Bergformen, Felsarten und Versteinerungen weichen sie von den dahinter aufragenden Berner Hochalpen (Diablerets, Wildhorn) erheblich ab; alle ihre Besonderheiten finden sich aber in den Klippen der Nordschweiz wieder. Man ist so zu der Überzeugung gelangt, daß die gesamten „Voralpen" in Wahrheit eine ungeheure Klippe sind, die aus dem Innern des Gebirges, zum Teil aus der Gegend südlich vom Montblanc, stammt

und über die Berner Kalkketten hinweg auf die Molasse des Alpenvorlandes geworfen wurde.

Die Deckennatur der romanischen Voralpen ist eine absolut gesicherte Tatsache. Im Norden ruhen sie auf der miozänen Molasse, im Süden zum Teil noch auf den helvetischen Kalkbergen, die sie überschritten haben.

Will man noch einen Schritt weitergehen, so kann man annehmen, daß die Voralpen früher tatsächlich mit den Klippen am Vierwaldstätter See ein Ganzes bildeten. Ein zusammenhängendes lepontinisches Gebirge hätte von Hochsavoyen bis zum Rhein gereicht und wäre später durch Erosion zerstückelt worden. Für unbedingt nötig halte ich diese Annahme nicht. Es ist ebensogut möglich, daß die Mythen, das Stanserhorn usw. schon als abgetrennte Felsklötze dorthin gelangten, wo sie augenblicklich liegen, mit anderen Worten, daß es riesige Findlinge sind, die allerdings nicht vom Gletschereis, sondern von den gebirgsbildenden Kräften in Bewegung gesetzt wurden.

Über die Gesteine der lepontinischen Zone nur ein paar Worte. Die ungeheuren Massen von Schichtgesteinen der Triaszeit, die sich in den Ostalpen und Dinariden so breit machen, suchen wir hier vergebens; wohl gibt es triadische Sedimente, aber sie bleiben weit hinter den Jura- und Kreideablagerungen zurück. Aus der Jura- und Kreidezeit stammt z. B. der größte Teil der Bündner Schiefer, einer Formation, die für den Gebirgsbau deshalb so wichtig ist, weil sie ganz bedeutenden Gneismassiven als Unterlage dient, also in der Tiefe eine beträchtliche Ausdehnung besitzt. Die höheren lepontinischen Decken (Klippen-, Breccien- und rätische Decke, vgl. S. 348) zeichnen sich durch bunteste Mannigfaltigkeit der Felsarten aus; für die rätische Decke ist besonders charakteristisch das Zusammenvorkommen der roten Radiolarienhornsteine mit Serpentin und „Grünsteinen" (d. h. umgewandelten, basischen Eruptivgesteinen).

Auf den ungemein verwickelten Gebirgsbau der lepontinischen Hauptzone kann ich hier nicht eingehen. In diesem Teil der Alpen gibt es sowohl autochthone Gneismassive, die durch Schiefermulden voneinander getrennt sind, als auch wurzellose, den Schiefern aufgeschobene Gneisdecken. Selbst die Riesen der Walliser Berge: Matterhorn, Dent Blanche, Weißhorn sind von Süden her importierte Massen, die auf einer ihnen fremden Unterlage schwimmen. Eine ganz seltsame Verflechtung der Gneise mit

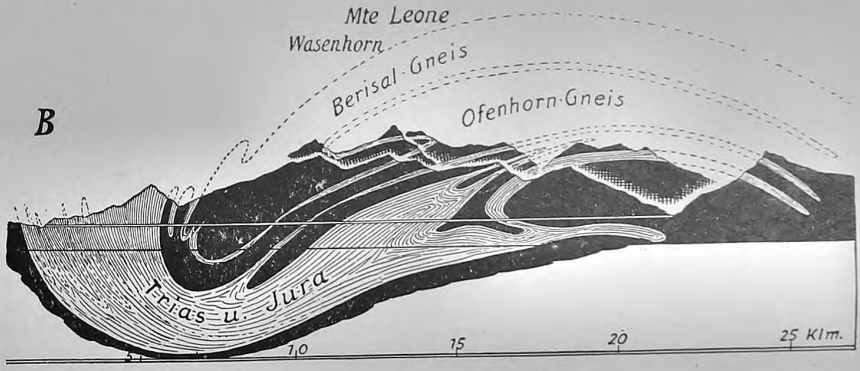


Abb. 299. Profil durch den Simplon. Die helle, das Gebirge durchsetzende Linie bezeichnet den Tunnellauf.

den Bündner Schiefern herrscht im Gebirge südlich von der Bedrettomulde (S. 340). An den steilen Gehängen der tief eingeschnittenen Täler stößt man zwischen den flach gelagerten Gneisen immer wieder auf Zonen von Triaskalk und Bündner Schiefern. Sieben verschiedenartige Gneise liegen hier annähernd wagerecht übereinander, und immer sind je zwei durch eine Schieferlage voneinander geschieden.

Diese früher ungeahnte Durchflechtung des Urgebirges mit Schieferzonen hat beim Bau des Simplontunnels zu mancherlei Überraschungen geführt. Als die Bohrungen ihren Anfang nahmen, war man noch allgemein der Ansicht, die Hauptmasse des Simplon bestände aus festem, 12 km weit anhaltendem Gneis. Wäre das richtig gewesen, so hätte sich der Bau verhältnismäßig einfach und billig gestaltet. In Wirklichkeit aber sah das Innere des Berges so aus, wie Abb. 299 zeigt: man kam aus dem Gneis immer wieder in Kalk und Schiefer, blieb

sogar in der Mitte des Tunnels 4 km lang ausschließlich in diesen unzuverlässigen Felsarten. Da das Wasser dem leichtdurchlässigen Kalkgestein folgt, so wurden viel häufiger, als der Bauunternehmung lieb war, starke Quellzuflüsse angeschnitten, die einige Male den gesamten Tunnel unter Wasser setzten. Besonders unangenehm wurden solche Zwischenfälle, wenn die Quellen Temperaturen von 30—40 Grad besaßen.

Wie aus dem abgebildeten Profil klar hervorgeht, wurzeln die Simplongneise nicht in der Tiefe, sondern ruhen als gefaltete Decken auf den Trias- und Juraschichten. Wie alle alpinen Decken, sind auch diese Gneise von Süden her auf die Schiefer geschoben; ihre Wurzeln lassen sich im Gebirge südlich vom Simplon nachweisen.

4. Der helvetische Faziesbezirk ist durch mächtige Entwicklung des oberen Jura und der unteren Kreide ausgezeichnet, während die Trias in schroffem Gegensatz zu den Ostalpen nur ganz schmale Zwischenlagen bildet oder vollständig fehlt. Daraus schließen wir, daß zur Triaszeit das helvetische Gebiet mit unbedeutenden Unterbrechungen Festland war. Später, gegen die Mitte der Jurazeit, gewann das Meer wieder die Oberhand, und nun entstanden jene kolossalen Schichtabsätze, aus denen die heutigen Kalkhochalpen der Nordschweiz (zwischen Aarmassiv und der Flyschregion) aufgebaut sind.

Wie dem Leser bekannt ist, war zur Jurazeit Süddeutschland von einem weiten, mäßig tiefen Meere bedeckt, das ein Eldorado der marinen Tierwelt genannt werden kann. Von

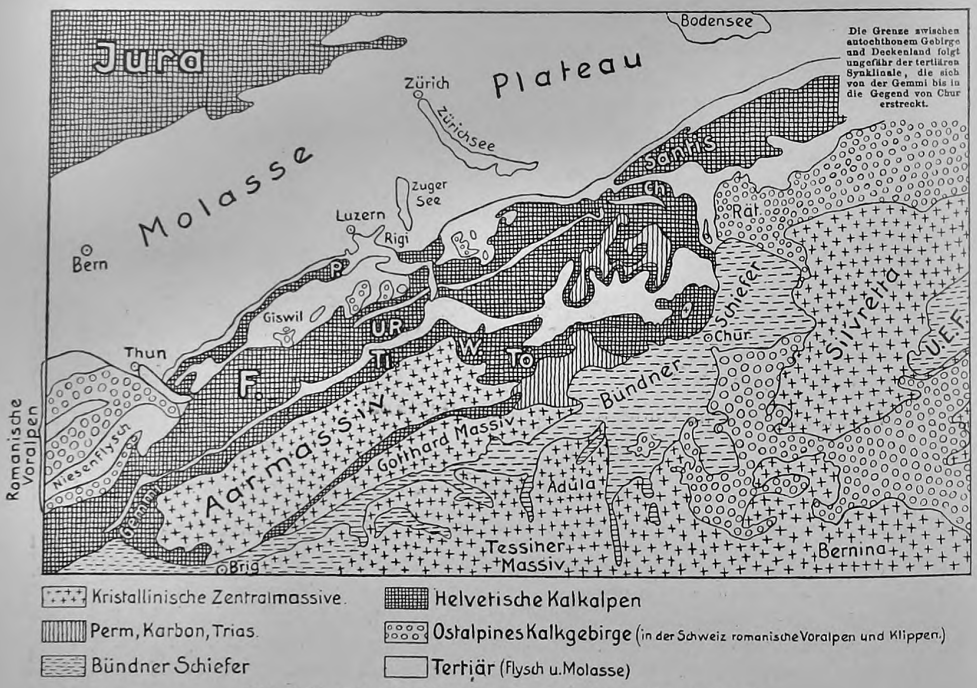


Abb. 300. Tektonische Karte der Schweizer Alpen. Nach H. Schardt.

Erklärung der Abkürzungen:
Ch. Churfirsten. F. Faulhorn. P. Pilatus. Rät. Rätikon. Ti. Titlis. To. Tödi. U.E.F. Unterengadiner Fenster. U.R. Uri Rotstock. W. Windgälle.

den niedrigen, pflanzenähnlichen Schwämmen bis hinauf zu den gewaltigen Ozeanbeherrschern, Ichthyosaurus, Plesiosaurus und den riesigen Meerkrokodiliern, finden wir alle Stämme und Klassen des Tierreichs in reicher Fülle vertreten. Vor allem sind es die Ammoniten, deren zahllose, beständig wechselnde Gestalten immer neues Erstaunen hervorrufen.

Wie weit reichte nun die schwäbische Jurasee nach Süden? Etwa in der Gegend, wo heute die Nordschweizer Kalkketten durchstreichen, muß eine Inselgruppe aus dem Meer aufgetaucht

sein, wie man an der Ablagerung von Korallenkalken und landpflanzenführenden Schichten erkennt. Weiter südlich, etwa in der heutigen Mittelzone der Alpen (Aarmassiv), gab es ein seichtes, von Sinkstoffen erfülltes Meer, das wegen seines schlammigen Charakters den Ammoniten keine günstigen Lebensbedingungen bot. Die tonigen und kalkigen Schichtabsätze würden dieses Meer rasch ausgefüllt haben, wenn sich nicht der Grund langsam und andauernd gesenkt hätte, so daß die Senkung gleichen Schritt hielt mit dem Absatz der Sedimente, das Meer also immer seicht blieb.

Nur auf diese Weise kann man verstehen, wie sich in der helvetischen Flachsee jene ungeheuren Schichtmassen anhäufen konnten, die zu festem Kalkstein und Schiefer geworden, als himmelhohe Gebirgsmauern uns vor Augen treten. Davon gleich mehr. Durchqueren wir nun das seichte, mittelalpine Jurameer in südlicher Richtung, so sehen wir es allmählich an Tiefe zunehmen und schließlich in einen offenen Ozean übergehen, der das gesamte Mittelmeergebiet überflutet: die uns wohlbekannte Tethys. Hier gibt es wieder Ammoniten die Fülle, aber es sind andere Arten als in Schwaben, es sind die „mediterranen" Formen der Tethys. Die mittelalpine Flachsee, durch eine Inselreihe von dem tieferen schwäbischen Meer geschieden, bildete die Grenze zwischen zwei Tierprovinzen. So erklärt es sich, daß die Ammoniten Schwabens im allgemeinen von denen der Südalpen verschieden sind. Nur vereinzelt drangen nördliche Ammoniten nach Süden vor; eine solche Mischung der Formen findet sich in einzelnen Schichten, die in der Übergangsregion beider Meere zum Absatz gelangt sein müssen.

Wir begreifen nun, warum die Mythen und anderen Klippen in ihrer jetzigen Umgebung so fremdartig wirken. Ihre Versteinerungen sind mediterran, während sich in den ringsum verbreiteten helvetischen Schichten eine Fauna von süddeutschem Charakter findet. Den seltsamsten Gegensatz zu ihrer Umgebung bilden wohl jene mächtigen Triaskalke und Dolomite, die mitten im triasarmen helvetischen Bezirk den gewaltigen Giswiler Stock (an der Brünigbahn) aufbauen. Sie stimmen in ihrer Fossilführung genau überein mit den Triaskalken der Lombardei.

Zu den bedeutendsten Ablagerungen der helvetischen Flachsee gehört der sogenannte Hochgebirgskalk, ein grauer, bald massiger, bald schieferiger Kalkstein, aus dem manche Riesen des Berner Oberlandes, Wetterhorn, Eiger u. a., ganz oder zum größten Teil bestehen. Zeitlich gehört er dem oberen Jura an, heißt darum auch Malmkalk. Mit dem Gneis des Berner Oberlandes ist er oft in ganz seltsamer Weise verzahnt; so dringen z. B. in den Gneis der Jungfrau von Norden her zwei gewaltige Kalkkeile, deren oberster über dem Rottal in eine zweizinkige Gabel ausläuft (vom Gasthof Obersteinberg über dem Lauterbrunner Tal bei

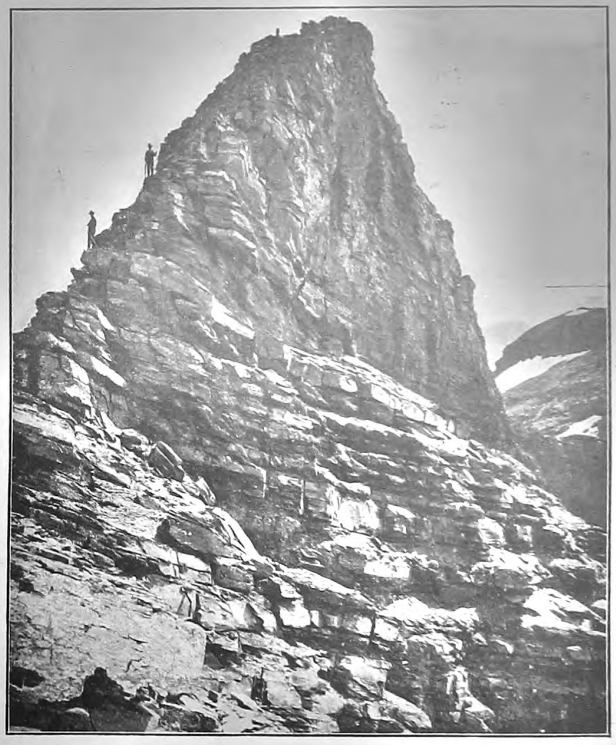


Abb. 301. Das Simelihorn in der Faulhorngruppe. Helvetische Juraformation.

Abendbeleuchtung gut zu übersehen; der bläuliche Kalk hebt sich von dem tiefrotbraunen Gneis scharf ab). Diese eigenartige Verkeilung erklärt man gewöhnlich mit der Annahme, daß der Kalk bei der Gebirgsbildung in den Gneis eingefaltet wurde.

Weiter östlich treffen wir denselben Malmkalk auf der langgestreckten Gadmenfluh, Titlis, Windgälle, Tödi usw. überall bildet er Abstürze von schreckenerregender Höhe und Steilheit.

Von den mannigfaltigen Sedimenten helvetischer Fazies sei hier nur noch jener schimmernden, schwarzen Schiefer gedacht, von denen die Schynige (d. h. scheinende) Platte bei Interlaken ihren Namen hat. Bricht nach Regenschauern die Sonne durchs Gewölk, so leuchten die nassen, glatten Felsflächen weithin im Widerschein. Die Schiefer gehören der Oxfordformation an, einer Unterabteilung des oberen Jura, und gewähren an manchen Stellen dem Sammler reiche Ausbeute an Versteinerungen. Aus etwas älteren Schiefern (oberem Dogger) besteht der Gipfel eines anderen, noch berühmteren Aussichtsberges, des Faulhorns (der Name bezieht sich auf den mürben, verrotteten Zustand dieser Schiefer).

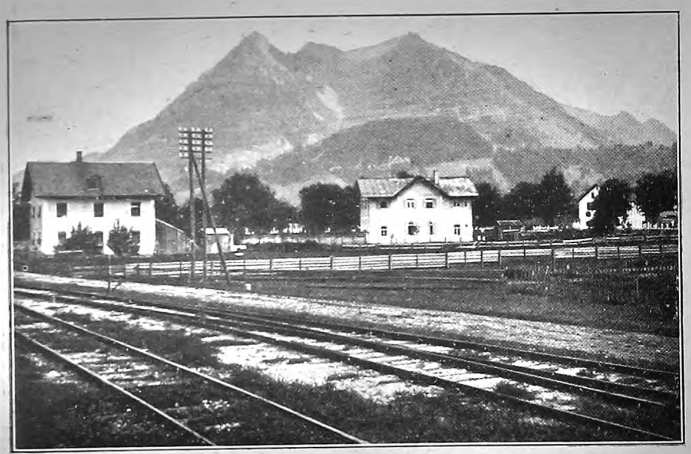


Abb. 302. Der Grünten bei Immenstadt, ein helvetischer Kreideberg.

Dank der unermüdlichen Arbeit der Schweizer Geologen weiß man jetzt, daß der helvetische Faziesbezirk in zwei tektonisch verschiedene Teile zerfällt: die Ketten, die von der Gemmi bis zum Tödi streichen, immer dicht am Nordsaum des kristallinischen Aarmassivs, sind autochthon, — alles, was nördlich davor liegt, ist Deckenland. Die nördlichen Ketten des Berner Oberlandes (etwa vom Wildhorn zum Schwabhorn), die Unterwalder Alpen, der Urirotstock, die Axenkette, die Glarner Alpen, das Säntisgebirge, — alles schwimmt wurzellos auf viel jüngeren Schichten (zumeist alttertiärem Flysch). Das ist durchaus keine Hypothese, sondern durch eine lange Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen einwandfrei festgestellt.

Ja aber — wo ist denn dieses helvetische Gebirge hergekommen? Wo lagerten Oxfordschiefer, Malmkalk, Kreidekalk, bevor sie sich auf die Wanderung machten und das alte Flyschvorland zudeckten?

Von Süden sind sie gekommen, darauf deuten alle Anzeichen. Aber sehr weit im Süden, etwa in den italienischen Alpen, kann ihr Ursprung nicht liegen, das beweist der Charakter der helvetischen Versteinerungen, die durchaus nicht „mediterran", sondern jenen Schwabens und der Nordschweiz ähnlich sind. Nur in der Mittelzone des Gebirges, wo jetzt die Gneis- und Granitspitzen des Aar- und Gotthardmassivs aufragen, darf man die Heimat der helvetischen Sedimente suchen.

Von vornherein ist klar, daß die kristallinischen Zentralmassive ehedem unter einer mächtigen Sedimentdecke verborgen gewesen sein müssen; denn die Erstarrung des Magmas zu Granit und Gneis vollzieht sich, ebenso wie die Metamorphose der Schiefer, nur in beträchtlicher Tiefe unter der Erdoberfläche. Wir kommen so zu der Vorstellung, daß einst die helvetischen Kalkalpen als eine vielleicht 10000 m mächtige Schichtenfolge auf dem Aar- und Gotthardmassiv ruhten und bei deren Emporwölbung nordwärts in die tiefe Mulde des Alpenvorlands hineinglitten. Diese Bewegung war natürlich kein plötzlicher, gewaltsamer Sturz nach Art der heutigen Bergstürze — dann müßte ja das ganze Kalkgebirge ein tolles Durcheinander sein, — sondern ein langsames, allmähliches Gleiten, das sich wahrscheinlich unter Wasser, an unterseeischen Abhängen, vollzog. Ob dergleichen Vorgänge möglich sind,

wollen wir uns im nächsten Kapitel überlegen.

Für die übrigen autochthonen Zentralmassive, z. B. Montblanc und Hohe Tauern, hätten wir das gleiche anzunehmen. Viele Geologen meinen, die Sedimentdecke aller dieser Massive sei allein durch Erosion und Denudation allmählich abgetragen worden. Aber wenn wir bedenken, daß Erosion und Denudation ja erst einsetzen konnten, nachdem das Gebirge aus dem Meer aufgetaucht war, also etwa seit Mitte der Tertiärzeit, so ist das für die Beseitigung eines so ungeheuren Schichtkomplexes entschieden ein zu kurzer Zeitraum, und wir kommen zu dem Schluß, daß neben der gewöhnlichen Abtragung noch viel stärkere Kräfte wirksam gewesen sein müssen.

Die beiden Zonen der helvetischen Kalkalpen, die autochthone und die wurzellose, sind durch eine langgestreckte Tertiärmulde voneinander getrennt. Eozäne Schichten mit Nummuliten füllen sie aus. Im Berner Oberland ist diese Zwischenzone sehr schmal, oft kaum erkennbar, doch am Fuß der riesigen Steilabstürze des Gebirges, an der Großen und Kleinen Scheidegg, am Oschinensee bei Kandersteg und an anderen Punkten, deutlich zu sehen. Gegen Westen steigt sie das Gental hinauf, ist bei Engelberg am Surenenpaß aufgeschlossen und erreicht die Reuß bei Altdorf und Flüelen (an der vielbegangenen Axenstraße steht eozäner Flysch gleich hinter Flüelen an). Jenseits des Reußtals entwickelt sich das tertiäre Zwischenland zu jener breiten Flyschmasse, die im Kanton Glarus die Tiefen der Täler füllt, während auf den Bergen weit ältere Schichten (Perm bis Kreide) liegen. Der Flysch reicht noch bis zum Wildbad Pfäffers unweit des Rheins, die Gesamtlänge der Tertiärmulde von hier bis zur Gemmi beträgt fast 170 km. Alles, was nördlich dieser Linie liegt, ist wurzelloses, auf dem Tertiär schwimmendes Deckenland.

Werfen wir nun noch einen Blick auf die Fortsetzung der helvetischen Region gegen Osten! Von der großen Kalkalpendecke hat sich im Norden eine „Tochterdecke" abgezweigt, die merkwürdigerweise fast gar keinen Jura, sondern nur Kreide enthält. Die Kreideschichten müssen sich von der „Mutterdecke" gelöst haben und selbständig noch weiter nach Norden abgeglitten sein, wo sie nun als äußerste Randketten der Schweizer Hochgebirge vom Thunersee bis nach Vorarlberg streichen. Eine Reihe bekannter Gipfel, Schrattenfluh, Pilatus, Churfirsten, Säntis usw., gehört diesem Kreidezug an.

Während die übrigen helvetischen Decken vor dem Rhein untertauchen, setzt sich die Kreidedecke des Säntis in die Ostalpen fort. Im Bregenzer Wald noch ansehnlich breit, verbirgt sie sich bald zum weitaus größten Teil unter dem ostalpinen Triasgebirge; als einer der äußersten Vorposten ragt der Grünten bei Immenstadt im Algäu auf, ein Schweizer Berg mitten im bayrischen Lande (Abb. 302).

Das östliche Ende der Säntisdecke ist noch unbekannt. Verfolgt man den schmalen Zug helvetischer Gesteine am Nordsaum der Bay-

Abb. 303. Exotischer Granitblock im Flysch des Habkerntals bei Interlaken.

rischen Alpen (vgl. die Karte auf S. 350), so beobachtet man, wie die tieferen, also älteren Schichten der Kreide von West nach Ost allmählich verschwinden. Dafür wird im östlichen Bayern, in Salzburg und Österreich der Flysch ein Glied der Kreideformation. Oft schon haben wir den Flysch als Unterlage der Klippen und helvetischen Decken erwähnt, aber in der gesamten Schweiz, im Algäu und auch in Oberbayern, soweit es links der Isar liegt, besitzt er alttertiäres Alter*). Das ändert sich, wie gesagt, vollständig in den östlichen Teilen der

*) Der Flysch der romanischen Voralpen ist jedoch zum Teil vielleicht jurassisch.

Alpen. Vom Trauntal an gewinnt die bis dahin zerrissene Flyschzone Zusammenhang und ansehnliche Breite; die mächtigen Sandsteinmassen des Wiener Waldes („Wiener" oder „Karpathensandstein") gehören durchweg zum Flysch, der hier die gesamte Kreide vertritt.

Sehr interessant ist nun, daß sich im österreichischen Kreideflysch ähnliche exotische Blöcke finden wie im tertiären Flysch der Schweizer Alpen (vgl. Abb. 303): Granit unbekannter Herkunft, Serpentin, Grünstein, mediterrane Juragesteine usw. Bei St. Veit gibt es sogar Klippen aus Doggerkalk, bei deren Anblick man sich in die romanischen Voralpen versetzt glaubt. Bevor die Deckentheorie aufkam, war die Existenz solch fremdartiger Blöcke und Felsgruppen kaum zu verstehen. Um doch eine Erklärung zu versuchen, nahm man seine Zuflucht zu einem hypothetischen Gebirge, das während des mesozoischen Weltalters im Norden der heutigen Alpen aufgeragt hätte und erst um die Mitte der Tertiärzeit versunken wäre. Die „Flüsse" dieses „vindelizischen" Gebirges hätten die exotischen Blöcke in das langgestreckte Schweizer und Österreichische Flyschmeer hinabgeschwemmt.

Auf die Klippen konnte man allerdings diese Erklärung nicht anwenden, sie waren zum Transport durch fließendes Wasser doch etwas zu groß! Hier half man sich mit der Annahme, die Klippen seien durch tektonische Kräfte aus der Tiefe heraufgepreßt und durch den weichen Flysch hindurchgestoßen worden. Solche Aufpressungen sind wohl aus vulkanischen Gegenden bekannt, aber der Nordrand der Alpen, wo die Klippenberge stehen, entbehrt aller vulkanischen Erscheinungen, und es ist gar nicht einzusehen, wie tektonische Kräfte für sich allein so merkwürdige Wirkungen hervorbringen könnten.

Abb. 304. S-förmig gefaltete Kreideschichten an der Axenstraße bei Flüelen. (E. Braun, K., phot.)

Nach der Deckentheorie stammen die exotischen Blöcke und Klippen aus den lepontinischen Teilen des Gebirges, wo ja die Mehrzahl ihrer Felsarten tatsächlich ansteht. Als die ostalpinen Decken über das Alpengebiet hinweggingen, rissen sie von der lepontinischen Unterlage zahlreiche große und kleine Stücke los und schoben sie vor sich her, ähnlich wie ein vorrückender Gletscher Teile der alten, früher abgelagerten Endmoränen abhebt und vor sich herwälzt, nur handelt es sich hier, bei der Gebirgsbewegung, um einen ungleich großartigeren Vorgang. Dieser lepontinische Trüm-

merwall blieb dort liegen, wo der Deckenschub sein Ende fand, nämlich auf dem Flysch am Nordrand des heutigen Gebirges. Seine Reste sind die Klippen und exotischen Blöcke.

Viele abgequetschte Felsbrocken gerieten auch wohl unter das wandernde Gebirge und wurden auf ähnliche Weise fortbewegt wie die Geschiebe der Grundmoräne unter dem Gletscher. Durch den ungeheuren Druck der auf ihnen lastenden Felsmassen wurden die Blöcke tief in die weiche Flyschunterlage hineingepreßt.

Blöcke und Klippen zeigen noch deutliche Spuren des erlittenen gewaltsamen Transportes. Wo größere Massen in Zusammenhang geblieben sind, herrscht ein unbeschreibliches Chaos der Lagerung; dazu sehen die einzelnen Felsarten gequetscht und „gequält" aus im Gegensatz zu den wenig mitgenommenen Gesteinen des Untergrundes. Wären die Klippen, wie manche Geologen annehmen, die von der Erosion verschonten Reste eines lepontinischen Gebirges, das zur Miozänzeit die Stelle der heutigen Kalkketten einnahm, so wären der verwirrte Zustand der Lagerung und die starken Pressungen der Schichten schwer zu verstehen. Beide Erscheinungen sind dagegen ganz natürlich bei losen Trümmermassen, die von einer wandernden Decke mitgeschleppt wurden.

Versuchen wir nun, das Wichtigste zusammenzufassen, was uns die Deckentheorie über den Aufbau der Alpen lehrt. Auszuscheiden sind zunächst die dinarischen Ketten, die im Westen nur schwach vertreten sind, aber auf der Brennerlinie mehr als die Hälfte der Gebirgsbreite einnehmen. Das übrige Gebirge wird im großen und ganzen von drei mächtigen, übereinander geschobenen Deckensystemen aufgebaut. Die unterste Decke ist die helvetische, darüber liegt die lepontinische und als oberste folgt endlich die ostalpine. An vielen Stellen des Gebirges fehlt jedoch das eine oder andere Deckensystem. Alle Decken haben sich, wie es scheint, von der konkaven Seite des Alpenbogens nach der konvexen bewegt, also in Österreich und der Schweiz von Süd nach Nord, in Piemont und Savoyen von Ost nach West. Ihre Wurzeln liegen teils im Innern, teils auf der Südseite des Gebirges. Man hat die Deckenbildung sehr anschaulich mit der Bewegung von Rauchsäulen verglichen, die aus den Schornsteinen eines Industriegebietes quellen und sich im Wind wagerecht ausbreiten und verteilen. Der Vergleich hinkt jedoch insofern, als die Decken sich schwerlich wagerecht bewegt haben (man wüßte nicht, welche Kraft sie dazu hätte zwingen können), sondern in schräger Richtung auf abschüssiger Bahn, dem Gesetz der Schwere folgend, abgeglitten sind.

Scharf von den Decken zu trennen sind die autochthonen Zentralmassive (Montblanc, Aarmassiv, Hohe Tauern usw.). Sie bilden gleichsam die festen Strebepfeiler des Gebirges, die ruhenden Pole in der nach Norden gerichteten Flucht der Decken. Aber nichts wäre verkehrter, als die Zentralmassive für starre, unbewegliche Massen zu halten. Sie sind aus der Tiefe aufgestiegen, haben sich domförmig emporgewölbt, sind dann vielleicht wieder ein beträchtliches Stück zurückgesunken, lauter Vorgänge, die den Verlauf der Gebirgsbildung stark beeinflussen mußten.

Wir haben bislang fast ausschließlich von den Alpen gesprochen. Das geschah aus dem Grunde, weil dieses Faltengebirge das bestbekannte der Welt ist, zugleich das einzige, über dessen Bau man mit einiger Sicherheit urteilen kann. Ob die übrigen Kettengebirge ebenfalls aus übereinander gepackten Decken zusammengesetzt sind, ist eine noch ungelöste Frage. Bei manchen, wie dem Apennin, den Karpathen, den dalmatinischen und bosnischen Ketten, dem Sarekgebirge in Schwedisch-Lappland, darf es als sehr wahrscheinlich gelten, über andere, und zwar sehr bedeutende Gebirge, Himalaya, Felsengebirge, Kaukasus usw., herrscht noch völlige Ungewißheit.

Als Beispiel einer sehr merkwürdigen Klippe außerhalb der Alpen sei der Monte Gargano erwähnt, der „Sporn am italienischen Stiefel", wie er scherzweise genannt wird. Dieser Berg springt, vom Apennin durch ein breites Tiefland getrennt, weit ins Adriatische Meer vor. Schon auf der Landkarte sieht er aus wie ein fremdartiger Brocken, der dem übrigen Italien nur lose angeklebt ist. Und wirklich hat die geologische Untersuchung gezeigt, daß die Gesteine des Gargano von denen des Apennins verschieden sind und wahrscheinlich aus Bosnien oder Dalmatien stammen.

Der Leser wird erstaunt fragen, wie der Berg denn über das Adriatische Meer hinüberkommen konnte. Nun, das Adriatische Meer ist offenbar eine jener Mulden, an deren Gehängen die Decken in die Tiefe gleiten (vgl. S. 346). Während aber die alpinen Mulden längst trocken liegen, ist die Adria erst zum Teil ausgefüllt. Mitten aus ihren Fluten,

halbwegs zwischen dem Gargano und der dalmatinischen Küste, ragt die einsame Felsinsel Pelagosa auf, gleichfalls eine aus Bosnien herübergewanderte Masse. Näher an der Küste gibt es noch andere ortsfremde Felsinseln und auf dem benachbarten Festlande, in Einsenkungen des verkarsteten Kreidegebirges, zahlreiche Klippen vom gleichen Charakter. Alles das stammt, wie ein Vergleich der Felsarten zeigt, aus dem Velebitgebirge, jenem langen, von Kroatien nach Bosnien streichenden Gebirgswall. Der Gargano ist nichts als der äußerste Vorposten der gewaltigen, ins Adriatische Meer hinabgeglittenen „Velebitdecke".

Die Verhältnisse an der Adria sind darum besonders interessant, weil sie uns zeigen, daß die Deckenbildung tatsächlich unter Wasser von statten geht. Wahrscheinlich hat der im jüngeren Tertiär erfolgte Einbruch der Adria (die sich natürlich sofort mit Wasser füllte), das Abgleiten der Velebitdecke veranlaßt.

Ein Faltengebirge ohne Deckenbau ist nach Steinmann die südamerinische Kordillere. Ihr fehlen auch die radiolarienreichen Tiefseeschichten sowie die dunklen, basischen Tiefengesteine, dafür ist sie reich an jungen, zum Teil noch lebhaft tätigen Vulkanen, die wieder den Alpen abgehen, — kurz sie ist ein Gebirge von durchaus eigenartigem Charakter. Dabei darf man allerdings nicht vergessen, daß die Kordillere sozusagen noch nicht „fertig" ist und möglicherweise noch beträchtliche Umformungen erleiden wird. Die schweren, verhältnismäßig rasch sich wiederholenden Erdbeben an der amerikanischen Westküste (Lima, Arica, Valparaiso usw.) deuten an, daß dieser Streifen der Erdrinde sich noch nicht im Gleichgewichtszustand befindet.

Viertes Kapitel. Theorien der Gebirgsfaltung.

Solange die Schrumpfungstheorie als unfehlbares Dogma galt, betrachtete man die Gebirgsfaltung als notwendige Folge der fortschreitenden Erkaltung des Erdkörpers. Wenn die Erdrinde, so folgerte man, für den zusammengeschwundenen Kern zu groß wird, zieht die Schwerkraft die Rinde gegen den Kern. Die Rinde verhält sich nun wie ein allseitig geschlossenes Gewölbe, das aus zahlreichen, untenhin sich verschmälernden Bausteinen zusammengefügt ist. Nach den Gesetzen der Mechanik wird sich das Gewicht des Gewölbes an den Fugen der Bausteine in tangentialen Druck umsetzen, der senkrecht zu den Fugen wirkt. Nun ist aber die Last des Gewölbes, also auch der Tangentialdruck, größer als die eigene Festigkeit der Erdrinde. An der zufällig schwächsten Stelle wird das Gewölbe zerquetscht werden, und die gelockerten Massen, für die kein Raum mehr vorhanden ist, müssen nach oben ausweichen. Es türmt sich an der Erdoberfläche eine Faltenkette auf, der bald eine zweite, dritte usw. nachfolgen, während das gesamte übrige Gewölbe ein wenig einsinkt.

Zur Erläuterung der Schrumpfungstheorie wird in den Lehrbüchern gern auf das Bild eines austrocknenden Apfels verwiesen. „Wie die Haut eines solchen allmählich zu groß wird, sich runzelt und dem schwindenden Fleische nachsinkt, so muß sich auch die Erdrinde verhalten." In Wirklichkeit verhält sie sich durchaus anders. Die welke Haut eines alten Apfels ist übersät von winzigen Runzeln und Fältchen, kein noch so kleiner Fleck ist mehr glatt und eben geblieben. Genau das Gleiche sollte man bei der Erde erwarten: die ganze Oberfläche unseres Planeten müßte bedeckt sein mit kreuz- und querlaufenden Faltenzügen, die zwar nicht durchweg als himmelhohe Gebirge aufzuragen brauchten (solche werden ja mit der Zeit eingeebnet), aber doch an den Schichtenfaltungen des Untergrundes überall nachweisbar sein müßten. Davon ist nun, wie der Leser schon weiß, keine Rede. An der Erdoberfläche treten Faltungen nur innerhalb gewisser, räumlich beschränkter Zonen auf, während ungeheuer weite Gebiete, z. B. die sogenannte Wüstentafel im nördlichen Afrika, das russische Flachland und das gewaltige nordamerikanische Kreideplateau ganz frei davon sind. Ferner lassen die Ergebnisse der Schweremessungen (vgl. S. 193) den Schluß zu, daß die Schichten des tiefern Meeresgrundes im großen und ganzen fast ungestört lagern, nur im Bereiche der unterseeischen Steilgehänge kommen erhebliche Störungen vor.

Der bei weitem größte Teil der Erdoberfläche ist also ungefaltet, woraus sich ergibt, daß der Vergleich mit dem austrocknenden Apfel ganz ungeeignet ist, die Entstehung der Kettengebirge unserem Verständnis näher zu bringen. In den gefalteten Regionen muß allerdings ein Zusammenschub gewisser Schich-

ten stattgefunden haben, er ist aber auch ohne Zuhilfenahme der Schrumpfungstheorie verständlich.

Betrachtet man das Profil eines Faltengebirges, so hat man den Eindruck, als seien die Schichten zwischen den Backen eines ungeheuren Schraubstocks zusammengepreßt worden, wodurch sie sich in zahlreiche enge Falten legten. Manche Forscher haben versucht, den Betrag dieses Zusammenschubes zu berechnen. Sie dachten sich sämtliche Falten wieder ausgeglättet, berechneten die Breite der gefalteten Zone und daraus die angebliche Verkürzung des Erdradius oder den Betrag der Schrumpfung. So wäre nach einer älteren Berechnung Heims der Streifen, den heute die Alpen zwischen der oberitalienischen Tiefebene und der Nordschweiz bedecken, vor der Gebirgsfaltung 120 km breiter gewesen als in der Gegenwart. Um diese Schrumpfung zu bewirken, müßte sich das Erdinnere rund 200 Grad abgekühlt haben. Zur Bildung sämtlicher Faltengebirge der Erde wäre nach Arrhenius eine Verkürzung des Erdhalbmessers um 50 km erforderlich gewesen.

Zu noch größeren Zahlen gelangt die moderne Deckentheorie. Nach E. Schmidt war z. B. das am Nordportal des Simplontunnels anstehende Gestein ursprünglich 200 km von den Felsmassen des Südportals entfernt. Der Tunnel ist 20 km lang, durchbricht also einen Streifen der Erdrinde, der auf $^1/_{10}$ seiner ursprünglichen Breite verkürzt wurde!

Für die gesamten Alpen berechnet Heim neuerdings den Zusammenschub auf $^1/_4$—$^1/_8$. Jetzt sind die Schweizer Alpen etwa 150 km breit, früher dehnte sich an ihrer Stelle ein Flachland von 600—1200 km Durchmesser aus. Allein durch die Alpenfaltung müßte also die Erde 2—3 % ihres Umfangs (heute ca. 40000 km) verloren haben.

Es ist nun überaus unwahrscheinlich, daß ein verhältnismäßig doch sehr schmaler Streifen der Erde sich so stark zusammengezogen haben soll, während in der Nachbarschaft ungeheuer weite Gebiete liegen, wo von einem Zusammenschub auch nicht die geringsten Spuren zu bemerken sind. Man begreift nicht, warum die Schrumpfung gerade auf diesem Streifen so erstaunliche Wirkungen erzielte und das unmittelbar danebenliegende Land garnicht antastete. Die Schwierigkeit verringert sich bedeutend, wenn man die alte Lehrmeinung aufgibt, nach der die faltende Kraft ihren Sitz in bedeutender Tiefe hätte (Schrumpfung des Erdinnern). Alle neuen Beobachtungen deuten darauf hin, daß der Zusammenschub nur die oberflächlichen Schichten, die wandernden Decken, betroffen hat. Die gewaltigen Schichtfaltungen, die wir z. B. im Säntisgebirge, an der Axenstraße, in manchen Teilen der Tiroler Kalkalpen bewundern, sind nichts weiter als Windungen und Biegungen fortgewälzter und gestauter Felsmassen.

Wenn langsam fortgleitende Schichten auf ein Hindernis, z. B. vorgelagerte Bergmassen, stoßen, so sind verschiedene Fälle möglich: entweder gelangt die Bewegung zum Stillstand, dann bäumt sich die rutschende Decke an der Front empor und legt sich in enge Falten, oder sie reißt die ihr entgegenstehenden Massen von ihren Wurzeln los und schiebt sie vor sich her, bis schließlich der ganze Komplex sich an einem neuen Hindernis staut und nunmehr ebenfalls gefaltet wird. Endlich kann es geschehen, daß die wandernde Gebirgsmasse das Hindernis überklettert und sich als Decke darüber ausbreitet; dann mag die Bewegung ganz allmählich ausklingen, ohne daß es zu stärkeren Faltungen kommt. Was sind das aber für Kräfte, die solch riesige Gebirgsmassen viele Meilen weit über die Erdoberfläche fortwälzen? Wenn man nicht zu ganz phantastischen Erklärungen greifen will, so kann wohl nur die Schwerkraft in Betracht kommen.

Stellen wir uns einmal vor, es bilde sich an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche eine gewaltige, viele Kilometer lange und mindestens 3—4000 m tiefe Mulde. Es kann dies durch allmähliche Senkung oder durch wiederholte Einbrüche geschehen, wie man es für die Tiefseemulden annehmen darf, die als langgestreckte Becken in die flach gelagerten Schichten des Ozeanbodens eingesenkt sind (vgl. S. 192). Es können aber auch zwei benachbarte Kontinentalmassive, die vorher wenigstens zum Teil unter Wasser waren, langsam aufwärts steigen und zwischen sich einen Streifen der Erdkruste lassen, der nicht oder nur wenig an der Aufwärtsbewegung teilnimmt. Dieser Streifen wird vom Meer bedeckt bleiben und wie ein eingesunkenes Becken zwischen zwei Festländern erscheinen.

In der Fachsprache nennt man ein derartiges Becken eine Geosynklinale.

Das dem Griechischen entlehnte Wort „Synklinale" bedeutet zwei gegeneinander geneigte Flächen, kann also durch „Mulde" übersetzt werden, und Geosynklinale heißt soviel wie „Erdmulde". Da dieser Ausdruck jedoch in der alltäglichen Sprache einen ganz anderen Sinn

hat, wollen wir lieber bei dem Fremdwort bleiben. Den Gegensatz zur Synklinale bildet die Antiklinale: zwei entgegengesetzt geneigte Schichten, die sich zu einem Sattel oder Gewölbe vereinigen (Abb. 306). Ausdrücke wie „synklinaler" bzw. „antiklinaler Schichtenbau" sind danach leicht verständlich.

Geosynklinalen hat es in allen Weltaltern gegeben, auch dem unserigen fehlen sie nicht. Langgestreckte Meeresbecken, flankiert von gebirgigen Festländern oder Inselguirlanden, deren Ketten den Längsachsen der Gebirge annähernd parallel streichen, lassen sich auf der heutigen Weltkarte mehrfach auffinden. Der Kanal von Mosambik, die Meerenge von Malakka, das Ärmelmeer sind sehr charakteristische Beispiele. Als eine im Verschwinden begriffene Geosynklinale dürfte das Adriatische Meer aufzufassen sein, in dessen Tiefe, wie wir sahen, ein Teil des Bosnischen Kalkgebirges begraben liegt, und das in der Gegenwart von den Schlammabsätzen der oberitalienischen Flüsse allmählich ausgefüllt wird.

Die Geosynklinalen interessieren uns aus dem Grunde, weil sie die Wiege der Faltengebirge sind. Es klingt beim ersten Hören ungemein paradox, daß Gebirge, deren höchste Gipfel jetzt 4—8000 m über den Meeresspiegel aufragen, und die vor ein paar hunderttausend Jahren wohl noch bedeutend höher waren, aus tiefen Meeresbecken emporgewachsen sein sollen. Dieser Werdegang kann nur das Ergebnis einer außerordentlich langen und abwechslungsreichen, von mannigfachen Kräften geförderten Entwicklung sein. Er begann mit ganz unbedeutenden Erdbewegungen am Grunde der neugebildeten Geosynklinale, diese summierten und steigerten sich in der Folgezeit, neue Kräfte griffen ein und hoben das „embryonale", im Dunkel der Tiefsee erzeugte Faltengebirge ans Licht der Oberwelt. Damit trat die Entwicklung in ein neues Stadium, in dem sich erst die eigentliche Gestaltung des Gebirges durch die reliefbildenden Kräfte der Oberwelt vollzog. Wir haben deren Tätigkeit schon bei Besprechung der Wasser- wie der Gletschererosion gestreift.

Der allgemeine Grundsatz, daß Zerstören viel schneller geht als Aufbauen, gilt auch für die Faltengebirge. Eine stattliche Reihe von Jahrmillionen, mehrere geologische Weltalter umfassend, sind nötig, um aus dem ehemaligen tiefen Meeresbecken ein felsiges, zum Himmel strebendes Kettengebirge hervorgehen zu lassen; sind aber die gebirgsbildenden Kräfte einmal zum Stillstand gelangt, so genügt vielleicht der fünfzigste Teil jenes Zeitraums, um das stolze Bauwerk bis auf die Fundamente abzuschleifen und einzuebnen. Hat man doch aus den sichtbaren Fortschritten der Zerstörung gefolgert, daß schon nach hunderttausend Jahren die prächtige Hochgebirgsszenerie der Alpen in Schutt und Staub zerfallen sein wird.

Gerade entgegengesetzter Absicht waren die älteren Geologen. Sie glaubten an gigantische Zuckungen der Erdrinde, die imstande wären, Gebirge wie die Alpen und den Himalaya in verhältnismäßig sehr kurzer Zeit — binnen weniger Jahrhunderte oder gar Jahrzehnte — aufzutürmen. Die Gebirgsfaltung trug danach den Charakter einer Katastrophe, verursacht durch ungeheure vulkanische Kraftäußerung. Ein gewaltiger Stoß sprengte von unten nach oben die bis dahin horizontale Schichtendecke auseinander, und durch die entstandene Öffnung wurden die kristallinischen Kernmassen der Gebirge, die sogenannten Zentralmassive, herausgepreßt. Ob diese Massen sich noch im flüssigen, magmatischen Zustand befanden oder schon erstarrt waren und nur „passiv" gehoben wurden, darüber gingen die Ansichten auseinander. Die durchbrochenen Sedimentschichten wurden durch den Stoß zur Seite geschoben und steil aufgerichtet. Das Schema eines auf diese Weise entstandenen Gebirges stellt Abb. 305 dar.

Bekanntlich hat die später zur Alleinherrschaft gelangte Schrumpfungstheorie die Mitwirkung vertikaler, von unten nach oben gerichteter Kräfte bei der Gebirgsfaltung überhaupt geleugnet und an deren Stelle den horizontalen, die Schichten seitlich zusammenschiebenden „Tangentialdruck" der Erdrinde eingesetzt. Man ist aber neuerdings auf Ansichten zurückgekommen, die denen der älteren Geologenschule nahestehen, nur daß man dem Vorgang die Natur einer plötzlichen Katastrophe abspricht und in ganz allmählich fortschreitenden Hebungen eine der Hauptursachen der Gebirgsbildung erblickt. So hat kürzlich der berühmte Geograph Penck mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß erst eine im Pliozän einsetzende und während der Eiszeit andauernde Aufwölbung die Alpen in das hohe Niveau brachte, das sie augenblicklich einnehmen.

Kehren wir nun zu jenen wannenförmigen Einsenkungen, den Geosynklinalen, zurück! Ihrer Entstehung gemäß müssen sie immer zwischen zwei Kontinentalmassen lie-

gen, deren Verwitterungsschutt naturgemäß in das Becken hinabgeschwemmt wird. Die Sedimente lagern sich zunächst in einem Gürtel unweit der Küste ab. Durch jahrtausendelang fortgesetzte Anhäufung dieser Geröll-, Schlamm- und Sandmassen entstehen steile unterseeische Abhänge, auf denen schließlich die angeschwemmten Sedimente keinen genügenden Halt mehr finden. Sie rutschen in die Tiefe, in die mittleren Teile der Geosynklinale und bedecken die dort abgesetzten Tiefseeablagerungen. Nach erfolgter Rutschung tritt zunächst Ruhe ein; da aber die Überlastung der Küstengehänge mit Sedimenten fortdauert, muß über kurz oder lang das Spiel von neuem beginnen. Auf diese Weise gelangen Schichten, z. B. Geröll- und Sandlagen, die sich ursprünglich im küstennahen Seichtwasser gebildet hatten, an Stellen des Meeresbodens, wo sie gar nicht entstehen konnten, nämlich mitten zwischen die Tone und Kalke eines viel tieferen Meeres. Wie leicht einzusehen, kommen dabei auch geologisch ältere Schichten auf jüngere zu liegen und in den tiefsten Teilen der Geosynklinale wird sich allmählich eine sehr verwickelte zum Teil geradezu verkehrte Lagerung der Formationen herausbilden. Hierbei ist die naheliegende Möglichkeit, daß die Schichten sich während ihrer rutschenden und gleitenden Bewegungen in Falten legen, zunächst unberücksichtigt gelassen.

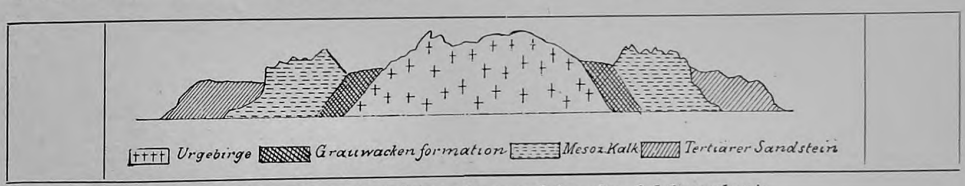


Abb. 305. Schema eines Faltengebirges nach der alten Erhebungstheorie.
Das Urgebirge hat die Schichtgesteine auseinandergesprengt und zur Seite geschoben.

Soweit die Theorie. Es fragt sich nun, ob man wirklich solche unterseeischen Rutschungen beobachtet hat. Nicht am offenen Meer, wo ja die Möglichkeit der Beobachtung viel ungünstiger liegt, wohl aber an Binnenseen ist dies häufig der Fall gewesen. Bedeutenden Schaden verursachten schon im Mittelalter und neuerdings im Jahr 1887 die katastrophenartigen Ufereinbrüche am Zuger See. Die Altstadt Zug ist auf altem Seeboden erbaut, einem sandigen Schlamm, den ein Gebirgsbach in den früher viel größeren und höher stehenden See geschwemmt hat. Wenn dieser Schlammsand einmal anfängt, sich zu bewegen, löst er sich völlig in Brei auf und fließt als schlammiger Strom weit in den See hinaus. Dabei gibt natürlich das Ufer nach, es bilden sich nischenförmige Einbrüche, die rasch landeinwärts fortschreiten und alles, was in ihrem Bereich liegt, Straßen, Häuser, Gärten, mit sich in die Tiefe ziehen.

Die Katastrophen treten ohne jede Vorwarnung, mit überraschender Plötzlichkeit ein. So versanken am 4. März 1435 ganz plötzlich 26 Häuser der „niederen Gasse" mit 60 Menschen in den See. Die jüngste Rutschung, deren sich viele Leser aus Zeitungsberichten noch erinnern werden, erfolgte am 5. Juli 1887. Es kam zu drei aufeinander folgenden plötzlichen Senkungen, wobei etwa 20 Häuser versanken und 650 Menschen obdachlos wurden. Der Schlammstrom bewegte sich, vom Einsturzrande am Ufer aus gemessen, 1020 m weit in den See hinaus.

Wenn man hört, daß der Seegrund an der betreffenden Stelle nur ganz allmählich absinkt (im Mittel $4^1/_2\,\%$) sollte man ein so weites Fließen nicht für möglich halten. Hierüber äußert sich Albert Heim, der das Gelände der Rutschungen aufs genaueste geologisch untersuchte, wie folgt: „Was an der ganzen Erscheinung im höchsten Grade in Erstaunen setzt, das ist eben diese geringe Neigung, auf welcher sich die Abrutschung vollzogen hat, und die Distanz, bis zu welcher sie gegangen ist. Nichts von gewaltigem Abgrunde, unergründlicher Tiefe oder dergleichen. Vielmehr drängt sich die Frage auf: Wo ist denn ein Ufer flach genug, damit eine derartige Bewegung nicht eintreten könnte? Schlammsand, wenn er einmal sich zu bewegen beginnt, löst sich eben völlig in Brei auf; die Reibung im Wasser ist eine viel geringere als in der Luft und das Wasser trägt einen bedeutenden Gewichtsteil des Schlammsandes."

Daraus ist zu schließen, daß selbst am Rand ganz flach wannenförmiger Geosynklinalen von Zeit zu Zeit Rutschungen der Ufersedimente eintreten. Wo aber der Meeresboden beträchtlich steiler geneigt ist, wie im Gebiet der sogenannten

Kontinentalböschung, wo er rasch von 200 auf 2—4000 m Tiefe fällt, da müssen die Abbrüche mit unverhältnismäßig viel größerer Wucht erfolgen und die abgelösten Massen viele Kilometer weit auf dem Meeresgrunde fortrollen. Direkt beobachten wird man solche Rutschungen vielleicht nie, weil sie in zu großer Tiefe vor sich gehen; denn unmittelbar am Strande läßt die starke Brandung im Verein mit der saugenden Wirkung der Gezeiten keine so mächtige Anhäufung loser Sedimentmassen zu. Wie ich bei Besprechung der Tiefseegräben erwähnte, suchen einige hervorragende Geophysiker (Milne, Arrhenius) die ausgiebigste Quelle der Erdbeben in kolossalen Rutschungen, die im Gebiet der Kontinentalböschung niedergehen. Man hat nämlich nachgewiesen, daß die großen japanischen, portugiesischen und südamerikanischen Erdbeben ihren Ursprung nicht auf dem Festland haben, sondern von den unterseeischen Steilgehängen herkommen.

Eine andere auffällige Erscheinung ist, daß Telegraphenkabel, die an jenen Abhängen liegen, häufig zerreißen, was — sofern sich in der Nähe keine unterseeischen Vulkane befinden — nur durch Rutschungen am Meeresboden erklärt werden kann.*) Nach alledem darf man nicht zweifeln, daß auch am Boden der Geosynklinalen häufig Umlagerungen der abgesetzten Sedimente stattfinden.

Werden nun die abgleitenden Schichten bei dieser Bewegung gleichzeitig gefaltet? Von breiigem Schlamm oder Sand kann man das nicht gut annehmen; er zergeht beim Fließen, trübt das Wasser weithin und setzt sich, wenn Ruhe eingetreten ist, ganz allmählich als feine, gleichmäßige Schicht wieder ab. Denken wir uns nun die Sedimente verfestigt und den Meeresboden trocken gelegt, so ist die ehemalige Rutschung einzig und allein an dem Umstand zu erkennen, daß mitten zwischen Tiefseeablagerungen eine Lage von Kontinentalschlamm mit Resten von Seichtmeerbewohnern eingeschoben ist.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn die rutschende Schicht schon halb verkittet ist, dann wälzt sie sich als zähe, zusammenhängende Masse in die Tiefe, wirft hierbei Wülste und bildet namentlich am Stirnrand die schönsten Falten und Fältelungen. In Süßwasserseen erreichen solche Vorgänge nur geringen Umfang, aber am Meeresgrund, wo aller Wahrscheinlichkeit nach sehr mächtige Sedimentlagen lange Zeit hindurch in einem halbverfestigten, plastischen Zustand verharren, können unter günstigen Umständen bedeutende Schichtkomplexe durch Rutschung gefaltet werden. Späterer Forschung wird es vielleicht gelingen, durch regelmäßig wiederholte Lotungen, die Neubildung von Falten am Meeresboden festzustellen.

Hiermit ist aber nur eine Ursache der Gebirgsfaltung erschöpft. Die Erdgeschichte hat uns gelehrt, daß die Entstehung der Kettengebirge an bestimmte geologische Perioden gebunden ist, vor allem an die Silur-, Karbon- und Tertiärzeit; dazwischen liegen Perioden wie Devon und Kreide, in denen nur geringe Faltungen stattfanden, und andere (Kambrium, Trias, Jura), die sich wenigstens in der Alten Welt durch vollkommene Ruhe auszeichnen. Das wäre nicht zu verstehen, wenn lediglich Rutschungen am Meeresboden faltenbildend wirkten, denn die haben sich zweifellos zu allen Zeiten ereignet. Eine andere, periodisch mit außerordentlicher Gewalt einsetzende Kraft muß den Anlaß zu jenen weit größeren Umwälzungen geben, die mit der Auftürmung schneebedeckter Hochgebirge abschließen.

Wo haben wir den Ursprung dieser Kraft zu suchen?

Bei Besprechung des Eiszeitproblems (S. 59) habe ich schon auf den Zusammenhang von Gebirgsbildung und Vulkanismus aufmerksam gemacht. Auf Perioden heftiger Faltung folgen in der Regel Perioden sehr starker und weitverbreiteter vulkanischer Ausbrüche; die Eruptionen beginnen meist schon vor dem Abschluß der Faltungsvorgänge. Danach könnte es scheinen, als mache erst die Gebirgsbildung den Vulkanismus frei, als öffne sie durch Lockerung und Zerrüttung der Erdschichten die Wege, auf denen die Schmelzflüsse emporsteigen. Wer so denkt, berücksichtigt nicht, daß die oberirdischen Ausbrüche nur die letzte Phase jener großartigen vulkanischen Vorgänge sind, die sich in bedeutender Tiefe abspielen und ungemein lange Zeit zu ihrer Vorbereitung brauchen.

Welcher vulkanischen Theorie man auch zuneigt, nirgends kommt man um die Annahme hinweg, daß von Zeit zu Zeit bedeutende Nachschübe schmelzflüssiger Massen in die äußerste Erdkruste erfolgen. Das emporbringende Magma schafft sich Raum, indem es die benachbarten, schon erstarrten Gesteine aufschmilzt und

*) Näheres im folgenden Abschnitt unter „Dislokationsbeben".

ihre Massen sich einverleibt. Bei andauernder Zufuhr aus dem Erdinnern können sich auf diese Weise Magmabecken von gewaltiger Ausdehnung bilden, die durch Aufschmelzen ihrer Wandungen beständig wachsen.

In den oberen Regionen der Erdrinde zieht sich das Magma beim Erstarren zusammen (vgl. S. 123), umgekehrt muß eine schon verfestigte und dann wieder schmelzende Gesteinsmasse sich beträchtlich ausdehnen. Das Magma übt also auf seine Wände einen starken Druck aus. Da nun ein Ausweichen der gepreßten Gesteinschichten nach der Seite und nach unten sehr selten möglich ist, so konzentriert sich die Ausdehnungskraft auf die Decke des Lavaherdes, und es kommt zur Bildung riesiger, gewölbeartiger Aufbiegungen der Erdrinde.

In dieser Weise denken wir uns die kristallinischen Zentralmassive der Alpen und anderer Kettengebirge entstanden. Es sind die emporgepreßten „Decksteine" der großen, in der Tiefe verborgenen Magmabecken.

Selbstverständlich spielt bei diesem Vorgang auch die noch immer rätselhafte Triebkraft des vulkanischen Magmas eine wesentliche Rolle, — jene Kraft, die den Glutfluß in die feste Erdkruste hineindrängt und ihn zum Aufsteigen befähigt.

Außerdem pflanzt sich die Wärme des Lavaherdes weit durch die Erdschichten fort (Beweis: die geringe geothermische Tiefenstufe, d. h. die rasche Zunahme der Erdwärme in vulkanischen Gebieten). Alle erhitzten Schichten müssen sich ausdehnen und zwar je nach Beschaffenheit ihrer Gesteine, in verschiedenem Grade. Dadurch wird das ganze Gebirge über dem Magmaherd in seinen Fugen gelockert, es bilden sich zahlreiche Spalten und Klüfte, die das Vordringen des Magmas erleichtern und die Einschmelzung neuer Felsmassen ermöglichen. Reicht ein solcher Spalt bis zur Erdoberfläche, so entsteht ein oberirdischer Vulkan.

Das Deckengewölbe wird durch diese Vorgänge mehr oder weniger zerstört. Der emporddrängende Glutfluß treibt die großen, aus dem Zusammenhang gerissenen Schollen immer weiter herauf, nimmt selbst deren ursprünglichen Platz ein und füllt auf weite Entfernungen alle offenen Spalten aus. Schließlich aber erlahmt die Bewegung, und das Magma verfällt allmählicher Erstarrung unter einer höchst unregelmäßig geformten Oberfläche.

Auf diese Weise etwa denken wir uns die kristallinischen Zentralmassive der Alpen in die Stellung gebracht, die sie zur Zeit einnehmen. Sie sind nicht dort erstarrt, wo sie jetzt lagern; diese Plätze haben sie erst in der Tertiärzeit erhalten, aber ihr Alter, d. h. die Zeit ihrer Kristallisation aus dem Schmelzfluß, reicht mindestens in die Steinkohlenperiode zurück. Vielleicht sind sie auch noch bedeutend älter. Diese sogenannten Zentralmassive sind nichts als die emporgepreßten „Decksteine" oder „Gewölbestücke" weitaus größerer, tief unter dem Gebirge verborgener Eruptivmassen. Erst diese haben wir als die wahren, aktiv an der Gebirgsbildung beteiligten Zentralmassive zu betrachten, während die an der Oberfläche sichtbaren Granit- und Gneisgesteine (wenigstens in der Tertiärzeit) nur eine passive Rolle spielten.

Hiermit sind wir in gewissem Sinne zu der Erhebungstheorie Leopold von Buchs und anderer Geologen der alten Schule zurückgekehrt (vgl. S. 362). Die neue Erhebungstheorie ist jedoch kein bloßer Abklatsch der alten. Ein wesentlicher Unterschied liegt darin, daß bei den alten Theoretikern die Aufrichtung des Gebirges den Charakter einer plötzlichen Katastrophe trägt, während wir ihn als einen ganz langsamen, schon in der Kreide beginnenden und vielleicht heute noch nicht abgeschlossenen Vorgang auffassen. Vom Augenblick, als die ersten Magmamassen in den Untergrund der Alpen eindrangen, bis zum Zeitpunkt, in dem Mont Blanc und Aarmassiv ihre größte Höhe erreichten, ist wahrscheinlich eine stattliche Reihe von Jahrmillionen verflossen.

Ferner litt die alte Theorie unter dem Fehler, daß sie die aufsteigenden Zentralmassive mit einer wunderbaren, schier unbegreiflichen Kraft ausstattete. Sie sollten das sedimentäre Kalk- und Schiefergebirge zur Seite geschoben und dadurch gefaltet haben. Ein solcher Vorgang wäre allerdings mechanisch unmöglich. Im Licht der neuen Gewißheit, die man über den Deckenbau der Alpen gewonnen hat, erscheint uns dieses angebliche Beiseiteschieben als ein Abgleiten der Schichten auf steil geneigter Unterlage.

Die Sedimentschichten haben sich aber doch ursprünglich in jenen tiefen Mulden, den Geosynklinalen, abgesetzt. Wenn sie nun in einem späteren Stadium auf dem Rücken der Zentralmassive liegen, von denen sie dann abgleiten, so gibt es keine andere Möglichkeit: die Zentralmassive müssen aus den Geosynklinalen selbst herausgewachsen sein.

Das hat weiter nichts Befremdliches, denn die Geosynklinalen sind von alters her schwache, häufig gestörte Gebiete der Erdkruste, die einem Druck von unten leichter nachgeben als die soliden, seit Urzeiten fest begründeten Kerne der Kontinente. Es ist anzunehmen, daß die Brüche und sonstigen Lagerungsstörungen, denen die Geosynklinalen ihre Entstehung verdanken, in sehr bedeutende Tiefen hinabreichen; solche wunden Stellen der Erdkruste boten naturgemäß dem Magma viele, leicht zu erweiternde Angriffswege. Wir verstehen nun, warum gerade die tief eingesenkten Mulden nachträglich die stärksten Hebungen erlitten haben.

Wie man aus dem geologischen Bau der Alpen (und auch anderer Faltengebirge) schließen kann, steigt zunächst aus dem mittleren, tiefsten Teil der Geosynklinale ein langgestreckter Rücken empor, der sie der Längenach in zwei Mulden teilt (vgl. Abb. 306, die diesen Vorgang schematisch erläutert). Statt einer Geosynklinale haben wir jetzt also zwei, die durch eine Antiklinale voneinander getrennt sind. Der langgestreckte Bogen der „nördlichen Zentralmassive" (Seealpen-, Pelvoux-, Belledonne-, Montblanc-, Aar- und Gotthardmassive) deutet in den heutigen Alpen den Verlauf dieser Antiklinale an.

Im Anfang ist die Antiklinale ein rein unterseeischer Gebirgszug, dann tauchen ihre höchsten Gipfel als einsame Inseln aus dem Meere auf (in der Regel werden dies vulkanische Inseln sein), bei weiterer Hebung entsteht ein Inselgebirge, wie wir es heute in Westindien und den Sundainseln vor uns haben, endlich schließen sich die Inseln zum Festland zusammen. Wir wollen hier für kurze Zeit halt machen und eine naheliegende Frage zu beantworten suchen.

Wenn die Gebirgsbildung wirklich so enorm lange Zeiträume beansprucht, so müssen sich doch auch in den heutigen Meeren, soweit es Geosynklinalen sind, die Anfänge künftiger Faltengebirge beobachten lassen. Bilden sich nun irgendwo unterseeische Antiklinalen?

Ein Beispiel sei angeführt, das durch seine Großartigkeit in Erstaunen setzt. Fast die halbe Erdkugel umspannt jener merkwürdige, unterseeische Höhenrücken, der den Atlantischen Ozean seiner ganzen Länge nach, von Island bis in die Nähe des südlichen Polarkreises durchzieht und ihn in zwei langgestreckte Tiefseerinnen, eine östliche und eine westliche, zerlegt.

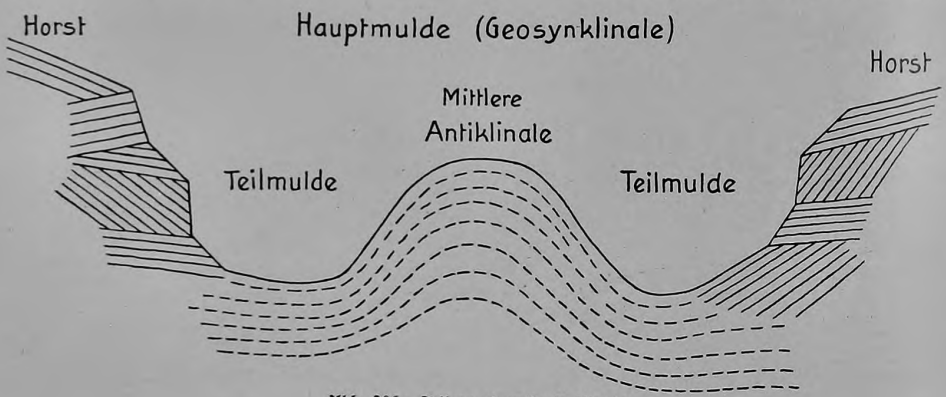


Abb. 306. Teilung einer Geosynklinale.

Im Querschnitt gleicht dieser Rücken einem breitgespannten Gewölbe, dessen Dach ein 1000 km breites Plateau ist, und das auf beiden Seiten ganz allmählich in die Tiefsee absinkt. Die durchschnittliche Meerestiefe über dem Plateau beträgt etwa 2000 m, an manchen Stellen aber erreicht der unterseeische Gebirgszug eine solche Höhe, daß seine Gipfel als Inseln aus dem Ozean hervorragen, es sind die Azoren und die einsamen Vulkaninseln St. Paul, Ascension und Tristan d'Acunha. In den Mulden zu beiden Seiten des Rückens sind dagegen Tiefen von 5000 und mehr Metern die Regel, ja auf der brasilianischen Seite sinkt das Lot häufig über 6000 Meter tief hinab.

Der Leser möge hier einen Blick auf die dem nächsten Abschnitt beigegebene Karte der wichtigsten Erdbebenherde werfen. Der mittelatlantische Höhenrücken ist hier schwarz bezeichnet wie die festländischen Faltenketten, mit denen er so manchen Zug gemeinsam hat.

Besonders auffällig ist sein S-förmiger, den Küsten von Afrika und Südamerika parallel gerichteter Lauf. Diese Übereinstimmung der Linien beweist, daß der große unterseeische Wall kein zufälliges Gebilde ist, sondern einer Gesetzmäßigkeit im Gefüge der benachbarten Kontinente seine merkwürdige Gestalt verdankt. Damit drängt sich ein Gedanke auf, den man im Anfang als allzu kühne Vorstellung zu verwerfen geneigt war: das ganze, große Becken des Atlantischen Ozeans ist eine riesige Geosynklinale, aus deren Mitte langsam ein gewaltiges, nordsüdlich streichendes Faltengebirge emporwächst.

Welcher Zeitraum wird nötig sein, damit die Ketten aus dem jetzt noch 1—3 Kilometer tiefen Meere auftauchen und als Kern eines neuen atlantischen Festlandes den halben Erdumfang umspannen? Jedenfalls außerordentlich lange Zeit, mehrere Millionen von Jahren. Wenn die neue Atlantis steht, werden Himalaya, Kordilleren, Alpen usw. bis auf unscheinbare Reste abgetragen und von der Erdoberfläche verschwunden sein, weite Gebiete der heutigen Festländer wird sich das Meer zurückerobert haben. Seit der fernsten Urzeit wogt ohne Aufhören der Kampf zwischen Wasser und Land, nur der Schauplatz der großen sichtbaren Veränderungen wechselt von Periode zu Periode.

Wir haben nun noch zu zeigen, wie man die hier entwickelte Hypothese der Gebirgsbildung auf die Alpen anwenden kann.

Von der Mittelzone der Alpen wissen wir, daß dort zur Trias- und Jurazeit ein seichtes Meer war, das zwei tiefere Ozeane von einander schied (vgl. S. 355). Unter diesem Flachseestreifen dürfte sich die Grundantiklinale des werdenden Gebirges erstreckt haben. Wahrscheinlich ragten hie und da auch schon Inseln auf. Etwas später (in der älteren Kreidezeit?) existierte ein ausgedehntes Inselgebirge, das nach einigen Schwankungen des Meeresspiegels zur festländischen Gebirgsmasse zusammenwuchs und um die Mitte der Tertiärzeit immer höher emporstieg.

Wie aber verlief die Entwicklung in den abgetrennten Teilmulden zu beiden Seiten der Hauptantiklinale?

Soweit man das bis jetzt beurteilen kann, haben sich in den Alpen die nördliche und südliche Teilmulde ganz verschieden verhalten. Wir können hier nur den schweizerischen Teil des Gebirges kurz berücksichtigen.

An den Abhängen des unterseeischen Rückens und in der nördlichen Mulde setzten sich jene gewaltigen Massen von Jura- und Kreideschichten ab, aus denen die heutigen Nordschweizer Kalkalpen aufgebaut sind. Unterseeische Rutschungen schoben die Kalke und Schiefer vielfach übereinander, so daß sie uns heute als Formation von erstaunlicher Mächtigkeit entgegentreten; aber diese Mächtigkeit ist oft nur scheinbar und entspricht keineswegs den ursprünglichen Verhältnissen.

Etwa für die Mitte der Tertiärzeit gilt folgendes Bild: In der Zentralschweiz erhebt sich ein kolossaler Gebirgswall, hervorgegangen aus der immer höher sich aufwölbenden Hauptantiklinale des Gebirges. Es ist das heutige Aar- und Gotthardmassiv, ein paar tausend Meter höher als in der Gegenwart und größtenteils noch bedeckt von seinem Jura- und Kreidemantel. Im Norden fällt das Gebirge steil, furchtbar steil ab ins Flyschmeer, das seinen Fuß umbrandet. Hier kam es nun in der jüngeren Tertiärzeit zu jenen ungeheuren Rutschungen, welche die alte Sedimenthülle des Massivs weit nach Norden warfen und das Flyschmeer, d. h. die nördliche Teilmulde zum größten Teil ausfüllten. Das abgeglittene Gebirge lag anfänglich tief unten und wurde von dem stehengebliebenen Kern des Aar- und Gotthardmassivs noch bedeutend überragt. Dann aber setzte die hebende Kraft auch im Untergrund der ehemaligen Mulde ein und drängte ihn samt dem darin versunkenen Kalkgebirge in die Höhe. Das Ergebnis war eine Wiederaufstehung der Schweizer Kalkalpen, die nunmehr zum zweiten Male in Gebirgshöhe emporrückten; jetzt aber lagerten sie sich als Außenketten vor die kristallinischen Massive, deren Dach sie ehemals gebildet hatten.

Ob auch an den südlichen Abhängen der Zentralkette größere Schichtkomplexe abgeglitten sind, läßt sich heute nicht mehr feststellen. Vielleicht fehlte es am nötigen Gefälle, vielleicht liegen die abgerutschten Massen so tief unter anderen Decken begraben, daß sie erst in ferner Zukunft bei weit vorgeschrittener Abtragung des Gebirges sichtbar werden. Es scheint aber, als sei die südliche Geosynklinale von der entgegengesetzten Seite her ausgefüllt worden.

Wie schon erwähnt, folgt die geologische Entwicklung der beiden Halbmulden ganz verschiedenen Bahnen. Die nördliche blieb ungeteilt, aus der südlichen aber scheint schon früh eine zweite Antiklinale aufgetaucht zu sein, die sie wieder der Länge nach in zwei Rinnen zerlegte. Im Lauf der Zeit wuchs die neue Antiklinale zu jenem mächtigen Hoch-

gebirgsbogen empor, der uns heute in den Gneismassiven der Cottischen, Grajischen und Tessiner Alpen entgegentritt (Zone der „inneren Zentralmassive oder des Monte Rosa"). Monte Viso, Gran Paradis, Monte Rosa sind die am stärksten gehobenen Teile des Gebirges, kolossale Gewölbe von verhältnismäßig einfachem, domförmigem Bau.

Die hebenden Kräfte haben also im Süden viel intensiver gewirkt als im Norden. Auch im übrigen war der Süden weit gewaltigeren Umwälzungen unterworfen, so daß dieser Teil der Alpen — trotz des ziemlich einfachen Baus der Zentralmassive — eine Menge höchst verwickelter tektonischer Probleme umfaßt, deren Lösung noch aussteht. Dahin gehört z. B. die Entstehung des auf S. 341 geschilderten Amphibolitzuges von Ivrea. Er erstreckt sich im Rücken, d. h. auf der Innenseite der Antiklinale des Monte Rosa, füllt also eine Teilmulde der südlichen Geosynklinale aus. In den Untergrund dieser Mulde drangen basische Schmelzflüsse ein und bildeten durch Aufschmelzen ihres Dachs jene mannigfachen, oft von Schritt zu Schritt wechselnden Hornblendegesteine des Amphibolitzuges. Durch andauerndes Nachdrängen des Magmas wurden dann die erstarrten Massen bis zur Erdoberfläche emporgepreßt. So haben die italienischen Geologen recht, wenn sie den Amphibolitzug eine gewaltige Wunde (immane frattura) der Erdkruste nennen.

Die nördliche und südliche Antiklinale der Alpen treten stellenweise so nahe aneinander, daß nur eine schmale Rinne dazwischen bleibt (Bedrettomulde). Aber wo heute die Walliser Alpen ihre eisgepanzerten Kämme erheben, von den nördlichen Abhängen des Monte Rosa bis zur Rhone und vielleicht noch weiter, dehnte sich früher ein breites Becken, das jedenfalls im Jura, vielleicht noch in der Kreide vom Meer erfüllt war. Jahrmillionen hindurch lagerten sich hier tonige und kalkige Schichten ab, die durch spätere Metamorphose zu „Bündner Schiefern" wurden. In diese Becken hinein sind zu verschiedenen Zeiten von der südlichen Antiklinale (Zone des Monte Rosa) her gewaltige Gneismassen abgeglitten. Die stolzen, lange Zeit unbezwungenen Riesen der Walliser Alpen, Dent Blanche, Dent d'Hérens, Rothorn, Weißhorn, Matterhorn usw. schwimmen, wie schon früher erwähnt, als „Deckschollen" auf den Bündner Schiefern; es sind abgetrennte, in die Tiefe geglittene Teile der südlichen Gneismasse.

Zehnter Abschnitt.

Erdbeben.

Erstes Kapitel. Die Entstehung der Erdbeben.

Erschütterungen des Erdbodens können mancherlei Ursachen haben. Der große Kruppsche Dampfhammer versetzt die ganze Umgebung der Stadt Essen in Schwingungen. Gewaltige Explosionen erwecken oft in weitem Umkreis den Schein eines Erdbebens. Am 19. März 1895 flog bei Keeken am Rhein ein mit 17000 Kilogramm Dynamit beladenes Schiff in die Luft, wodurch ein Flächenraum von 700 Quadratmeilen in zitternde Bewegung geriet und z. B. in dem 120 km entfernten Kirchrath Gläser klirrten und Türen klappten. Auch starkes Geschützfeuer kann eine ähnliche Wirkung haben. Am Nachmittag des 6. Januar 1910 verzeichneten die Erdbebenmesser der Sternwarte von Pulkowo fortwährende Erdstöße. Wie sich später herausstellte, hatten die Erschütterungen ihren Ursprung in Zarskoje Selo, der bekannten Zarenresidenz, wo an jenem Tage das Fest der Wasserweihe begangen und eine Anzahl Geschützsalven abgefeuert worden war.

Bekannt ist, daß Bergstürze den Boden oft weithin erbeben machen. In der Umgebung des Niagara erzitterte vor einigen Jahren die Erde, weil von der Oberkante des Falls ein mächtiges Felsstück abgebrochen und in die Tiefe gestürzt war. Selbst Erschütterungen ganz unbedeutender Natur, die z. B. von einem fahrenden Eisenbahnzug, einer rollenden Straßenwalze, von starkem Winde usw. herrühren, werden von den feinfühligen Erdbebenmessern getreulich registriert (Abb. 307).

Nichts von dem allen gehört zu den Erdbeben im eigentlichen Sinne. Alle jene Erschütterungen haben ihren Ursprung an der Erdoberfläche oder in sehr unbedeutender Tiefe, ihre Ursachen sind von vornherein klar oder wenigstens sehr leicht zu ergründen. Der Herd eines Erdbebens aber liegt stets unter der Oberfläche, oft in sehr tiefen Schichten, die Ursache ist unsichtbar und behält selbst bei sehr gründlicher Untersuchung etwas Rätselhaftes.

Das Geheimnisvolle, was den Erdbeben anhaftet, könnte leicht den Glauben hervorrufen, irgendwelche sonst unbekannten Kräfte seien bei ihrer Entstehung tätig. Die Wissenschaft hat es jedoch nicht nötig, sich in dieser Weise bankerott zu erklären. Die bekannten geologischen Kräfte reichen vollständig aus, wenigstens die nächsten, unmittelbaren Ursachen der Erdbeben uns verständlich zu machen. Zur Erkenntnis der letzten Ursachen gelangt man allerdings nicht so leicht, — aber in welchem Zweige der Naturwissenschaften weiß man überhaupt etwas Sicheres über die letzten, allem Geschehen zugrundeliegenden Prinzipien?

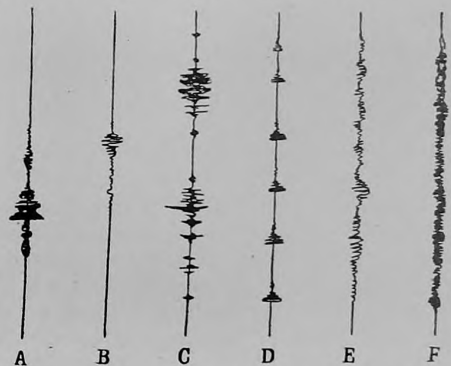


Abb. 307. Diagramme von Bodenbewegungen, hervorgerufen durch A Erdbeben, B Straßenwalze, C fahrende Artillerie, D Kanonenschüsse, E starken Wind und F arbeitende Maschine.

Von der Gesamtmenge der Erdbeben lassen sich zunächst zwei Gruppen absondern, deren Entstehung verhältnismäßig leicht zu begreifen ist: 1. die vulkanischen Beben, 2. die Einsturzbeben.

In einer dritten Gruppe werden dann alle Beben vereinigt, über deren Ursachen man sich einstweilen noch im Unklaren befindet, und das trifft für die übergroße Mehrzahl zu. Alle diese fraglichen Beben gehen unter der Gesamtbezeichnung „tektonische" Beben. Zweifellos sind viele ihrer Natur nach ebenfalls vulkanisch, wobei man aber an den Vulkanismus der Tiefe, an Vorgänge in der schmelzflüssigen Zone des Erdballs zu denken hat. Wir wollen diese Beben als Tiefbeben bezeich-

nen. Schließlich bleibt noch eine vierte, sehr bedeutende Gruppe von Erschütterungen übrig, die wahrscheinlich auf Verschiebungen der Gesteinschichten innerhalb der festen Erdkruste zurückgehen. Dies sind die eigentlichen tektonischen Beben, auch Dislokationsbeben genannt, weil sie in Ortveränderungen (Dislokationen) der Schichten ihren Grund haben.

Die Unterscheidung der beiden letzterwähnten Gruppen hat einstweilen nur theoretischen Wert; denn solange es keine zuverlässige Methode gibt, nach der man die Herdtiefe eines Bebens wenigstens annähernd berechnen kann, ist es auch unmöglich festzustellen, ob eine Erschütterung in der festen oder schmelzflüssigen Zone des Erdballs ihren Ursprung hat. In der Natur der Sache liegt es auch, daß die Beben der ersten Gruppe, also die im engsten Sinne vulkanischen, sich in der Praxis nur schwer von den Tiefbeben trennen lassen.

Wir wollen nun die verschiedenen Gruppen im einzelnen durchsprechen.

1. Vulkanische Beben.

Fast alle Vulkanausbrüche werden von Zuckungen der Erdrinde eingeleitet und begleitet. Der im Krater auf und nieder wogende Glutbrei versetzt den ganzen Vulkan in Schwingungen, die an Stärke zunehmen, je höher die Spannung der eingeschlossenen Gase steigt, mit anderen Worten, je näher der Augenblick der Eruption heranrückt. Wird endlich die Decke gesprengt, strömen die Dämpfe und Lavamassen aus, so werden auch die Erdstöße rasch schwächer und hören bald gänzlich auf. Nur in der unmittelbaren Nachbarschaft des Kraters wiederholen sich die Erschütterungen oft Monate und Jahre hindurch in ziemlich kurzen Zwischenräumen, — jedem Auswurf glühender Schlacken, jedem plötzlichen Dampfausbruch geht ein Zittern des Kraterbodens voraus.

Im Gefolge der vulkanischen Erdbeben kommt es zur Bildung von Erdspalten, zu Bergstürzen und Rutschungen, zum Versiegen und plötzlichen Hervorbrechen kalter und warmer Quellen. Am Tage vor der furchtbaren Explosionskatastrophe des Bandai-San (S. 104) verspürte man im benachbarten Badeort Kawakami schwache Erdstöße, die sich am folgenden Tage steigerten, bis der Zusammensturz des Berges erfolgte, durch den alles Land weitum verschüttet wurde. Gleichzeitig trübten und veränderten sich die heißen Quellen des Bades.

Auf Island gehören vulkanische Erdbeben sozusagen zum täglichen Leben. Meist bleiben sie schwach und verlaufen ohne wesentlichen Schaden, von Zeit zu Zeit aber, das letzte Mal im August und September 1896, nahmen sie verheerenden Charakter an. Damals ereigneten sich, außer zahlreichen kleinen, fünf große, verderbliche Stöße, durch die etwa 100 Bauernhöfe vollständig zerstört wurden. Das Beben hatte seinen Ausgangspunkt im Hekla, der sich jedoch während der ganzen Zeit völlig ruhig verhielt. Der vortrefflichen „Einführung in die Erdbebenkunde" von Hobbs-Ruska entnehmen wir die folgenden interessanten Einzelheiten.

Die heimgesuchte Fläche, das südwestliche Tiefland der Insel, wird im Osten von einem Wall hoher Berge begrenzt, zu denen der Hekla und andere Vulkanriesen gehören. Von diesem Wall her kamen die Stöße. Mehrere Male glich die Erdoberfläche einem vom Sturm bewegten Meere, so daß weder Menschen noch Tiere sich auf den Füßen halten konnten. Leute, die in der Nähe eines Abhangs lagen, wurden über ihn hinabgeschleudert. Ein isoliert aus der Ebene aufragender Berg wurde geschüttelt „wie ein Pudel, der aus dem Wasser kommt", und ein dicker Mantel loser Erde, der ihn bedeckt hatte, lag nachher in einzelnen Haufen rings um den Fuß des Berges.

Merkwürdig ist, daß jeder der fünf zerstörenden Stöße ausschließlich einen bestimmten Bezirk des Tieflandes traf, und zwar jeder Stoß einen anderen. Diese einzelnen „Stoßflächen" sind durch Spalten scharf voneinander geschieden. Offenbar haben sich der Reihe nach bestimmte Schollen der Erdrinde bewegt, deren Grenzen an der Erdoberfläche durch Spalten bezeichnet werden.

Doch auch innerhalb der Stoßflächen entstanden zahlreiche Spalten und Verwerfungen. An den Abhängen, die das Tiefland einrahmen, waren Bergrutsche etwas ganz gewöhnliches. Ganze Teiche verschwanden in trichterförmigen Öffnungen des Bodens, viele warme und kalte Quellen, auch einige wohlbekannte Geiser erlitten auffallende Störungen. Der prächtige, bei einem früheren Erdbeben entstandene Stokkr hörte plötzlich auf zu fließen und scheint seit der Zeit ganz erloschen zu sein. Dafür öffnete der gewaltige Stoß vom 5. September eine neue Springquelle, die anfänglich mit lautem Donnern und Pfeifen Wasser, Dampf und Felsbrocken etwa 200 Meter hoch warf, aber rasch an Kraft verlor und schon nach zehn Tagen ihre Tätigkeit wieder einstellte.

Wie erwähnt, verhielten sich die das Tiefland umgebenden Vulkane Hekla, Katla u. a., vollständig ruhig. Das ist jedoch kein Grund, den vulkanischen Charakter des Erdbebens zu leugnen. Bewegungen der Schmelzflüsse in der Tiefe, z. B. ihr Aufsteigen in höhere Zonen der Erdkruste, können geraume Zeit *vor* dem oberirdischen Ausbruch starke Erschütterungen verursachen. Wenn in der Nähe eines angeblich erloschenen Vulkans plötzlich heftige Erdbeben auftreten, so deutet das auf ein Wiedererwachen der unterirdischen Gewalten. Das verheerende Beben, das im Jahre 63 n. Chr. die Gegend von Pompeji und Herkulanum heimsuchte, dürfte ein Vorzeichen jenes gewaltigen Vesuvausbruchs gewesen sein, der 16 Jahre später die genannten Städte unter Schlamm und Asche begrub. Kennzeichnend für die vulkanischen Erdbeben, selbst für sehr heftige, ist die *geringe Ausdehnung des erschütterten Gebietes*. Die fünf Hauptstöße des isländischen Bebens von 1896 trafen, wie wir sahen, immer nur einen kleinen Teil des Tieflandes. Die Erschütterungen auf Martinique zur Zeit der bekannten furchtbaren Katastrophe wurden von den Meßapparaten der benachbarten Inseln und des amerikanischen Festlandes gar nicht aufgezeichnet. *Ischia*, das kleine, vulkanische Eiland im Golf von Neapel war öfters der Schauplatz von Erdbeben, die an verheerender Gewalt den großen kalabrischen und sizilianischen Katastrophen kaum nachstanden, aber nicht über die Insel hinaus zu wirken vermochten.

Am schwersten hatte von jeher die Bäderstadt *Casamicciola* zu leiden, die an den Abhängen des tätigen Feuerbergs Epomeo liegt. Der Stoß vom 28. Juli 1883 warf alle Häuser bis auf eines nieder und tötete über 2300 Menschen, gleichwohl ließen die Erdbebenmesser des nur 6 Meilen entfernten Vesuv-Observatoriums keinerlei Störung erkennen, ein Zeichen, daß der Ursprungsort in geringer Tiefe lag (eine Berechnung ergab 800 m Tiefe, doch ist so bestimmten Zahlenangaben geringer Wert beizumessen). Der gewaltige und doch räumlich so beschränkte Stoß wird auf einen *mißglückten Durchbruchversuch* des unterirdischen Magmas zurückgeführt.

2. *Einsturzbeben*

entstehen durch den *Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume*, werden also hauptsächlich im Gips-, Kalk- und Steinsalzgebirge vorkommen, wo die auflösende Tätigkeit des Wassers immer neue Höhlen schafft und die schon bestehenden erweitert. Mit den vulkanischen Beben haben sie den Zug gemeinsam, daß sie nur ein engbegrenztes Gebiet treffen, hier aber in hohem Grade zerstörend wirken können. Im Karst, wo die meisten Erderschütterungen wohl auf unterirdische Einstürze zurückgehen, sind Fälle vorgekommen, daß mehrere Häuser mit allen Bewohnern plötzlich in trichterförmigen Senkungen des Bodens verschwanden. Aber gerade im Karst ist es schwer, zwischen Einsturz- und Dislokationsbeben eine bestimmte Grenze zu ziehen.

Die Bildung der soeben erwähnten *Erdtrichter* oder *Erdfälle* ist wohl immer mit lokalen Erschütterungen verbunden. Von manchen Erdfällen Mitteldeutschlands wird erzählt, daß dem Einsturz heftiges *unterirdisches Donnerrollen* vorausging, wodurch die auf dem Felde, am Ort der Katastrophe, arbeitenden Landleute noch rechtzeitig gewarnt wurden. In einzelnen Gegenden hat man jedoch bisweilen monatelang solche Geräusche vernommen, ohne daß es zu einer Bodensenkung oder auch nur zu einer fühlbaren Erschütterung gekommen wäre. Die merkwürdigste Beobachtung dieser Art teilt *Al. v. Humboldt* in seinem Kosmos mit.

Zu Anfang des Jahres 1784 machten sich in der mexikanischen Minenstadt Guanaxuato heftige unterirdische Geräusche bemerkbar, die über einen Monat anhielten. Sie glichen schweren Gewittern: langsam rollender Donner wechselte mit scharfen, kurz abgebrochenen Schlägen. Diese ungewöhnliche Erscheinung ängstigte die Einwohner dermaßen, daß fast alle die Stadt verließen, obwohl weder an der Oberfläche noch in den 500 m tiefen Minen die geringste Erschütterung zu verspüren war. Ein ähnliches Phänomen wurde in den Jahren 1822—24 auf der dalmatinischen Insel Meleda (also im Karstgebiet!) wahrgenommen.

Als Ursache der unterirdischen Geräusche lassen sich denken: Einsturz von Höhlen, langsames Aneinanderreiben von Gesteinschichten, sehr kurze, schnelle Schwingungen des Bodens, Explosionen angesammelter Gase, Eindringen des Meeres in Höhlungen und Spalten, wobei die eingeschlossene Luft durch enge Klüfte gepreßt wird u. a. Die Frage bedarf noch langer, gründlicher Untersuchungen.

Einige ältere Theoretiker, an der Spitze *O. Volger*, wollten auch die Mehrzahl der großen, weithin fühlbaren Erdbeben auf Einbrüche der Erdkruste zurückführen. Das wäre nur möglich, wenn es im Erdinnern meilenweite Hohlräume gäbe, über denen die Gebirge nach

Art riesiger Gewölbe schwebten. Eine solche Voraussetzung widerspräche allem, was wir über die Wirkungen des Gebirgsdrucks wissen. Innerhalb der festen Erdkruste können nur kleine Hohlräume bestehen, und daher können die Einsturzbeben nur kleine Teile der Kruste erschüttern.

3. Tiefbeben.

Nach moderner Auffassung liegt der Ursprungsort vieler Erdbeben (und zwar gerade der heftigsten und ausgedehntesten) in sehr beträchtlicher Tiefe, an der Grenze von schmelzflüssigem und bereits verfestigtem Gestein oder gar in der magmatischen Zone selbst. Bei aller Unsicherheit, die den Berechnungen der Herdtiefe anhaftet, steht doch fest, daß manche Beben aus Tiefen von 50—100 km zu uns kommen. Wir erinnern uns hier, daß nach Wiechert die feste Erdkruste kaum tiefer hinabreicht als 35 km, und daß in etwa 800 km Tiefe die Grenze zwischen dem leichten, äußeren „Steinmantel" des Erdballs und seinem schweren Eisenkern zu suchen ist.

In der Übergangszone zwischen schmelzflüssigen und festen Schichten müssen von Zeit zu Zeit gewaltige Spannungen entstehen, deren plötzliche Auslösung das gesamte Felsgerüst unseres Planeten erzittern läßt. Die Natur dieser Spannungen auseinanderzusetzen, würde hier zu weit führen. Auch das gewaltsame Eindringen des Magmas in schwache Teile der Kruste und die Ausscheidung von Dampf- und Gasmassen aus dem Schmelzfluß mögen sich als senkrecht von unten nach oben wirkende Stoßkräfte betätigen. Wie im vorhergehenden Abschnitt auseinandergesetzt wurde, ist es wahrscheinlich, daß das Magma sich durch Aufschmelzen der Herdwände immer neuen Raum schafft; dabei werden von Zeit zu Zeit beträchtliche Teile der Decke, deren Stütze weggeschmolzen ist, in den Glutherd hinabstürzen, ein Vorgang, der ohne Zweifel gewaltige Erschütterungen des Deckgebirges zur Folge hat. Hier hätten wir also eine neue Untergruppe: Einsturzbeben aus vulkanischer Ursache.

Das alles sind Vermutungen, deren Zahl sich leicht noch vermehren ließe. In Wirklichkeit wissen wir von den letzten Ursachen der Tiefbeben soviel wie nichts, wollen uns daher nicht länger mit dergleichen Spekulationen aufhalten, sondern zu den beobachteten Tatsachen übergehen. Sehr interessante Ausblicke gewährt die geographische Verbreitung der Tiefbeben.

Vor ein paar Jahren hat der bekannte Erdbebenforscher Montessus de Ballore nachgewiesen, daß neun Zehntel der „tektonischen", also der Tief- und Dislokationsbeben, auf zwei schmale Zonen des Erdballs verteilt sind, die mit den tertiären Faltengebirgen zusammenfallen: die „zirkumpazifische" und „alpin-himalayische" Zone. Aus unserer Darstellung der vulkanischen Erscheinungen ist dem Leser bekannt, daß auch die tätigen oder vor kurzem erloschenen Vulkane nahezu auf die gleichen Regionen beschränkt sind.

Die Lage dieser Erdbebengürtel erhellt aus der beigegebenen Karte, auf der die gefalteten Streifen der Erdrinde tiefschwarz gehalten sind. Auch die hypothetischen unterseeischen Faltenzüge im Atlantischen und Indischen Ozean (vgl. S. 366) findet man darauf verzeichnet. Unter der alpin-himalayischen Zone wird jenes großartige Gebirgssystem verstanden, das mit den Pyrenäen und dem Atlas beginnend, durch Europa und Asien streicht und einen südlichen Ausläufer nach den Sundainseln, einen nördlichen nach Ostsibirien entsendet. Alpen, Dinariden, Karpathen, Balkan, Kaukasus, Tianschan, Himalaya, Altai sind einige der bedeutendsten Zweige dieses zum größten Teil aus dem Schoß der alten Tethys aufgestiegenen Faltensystems.

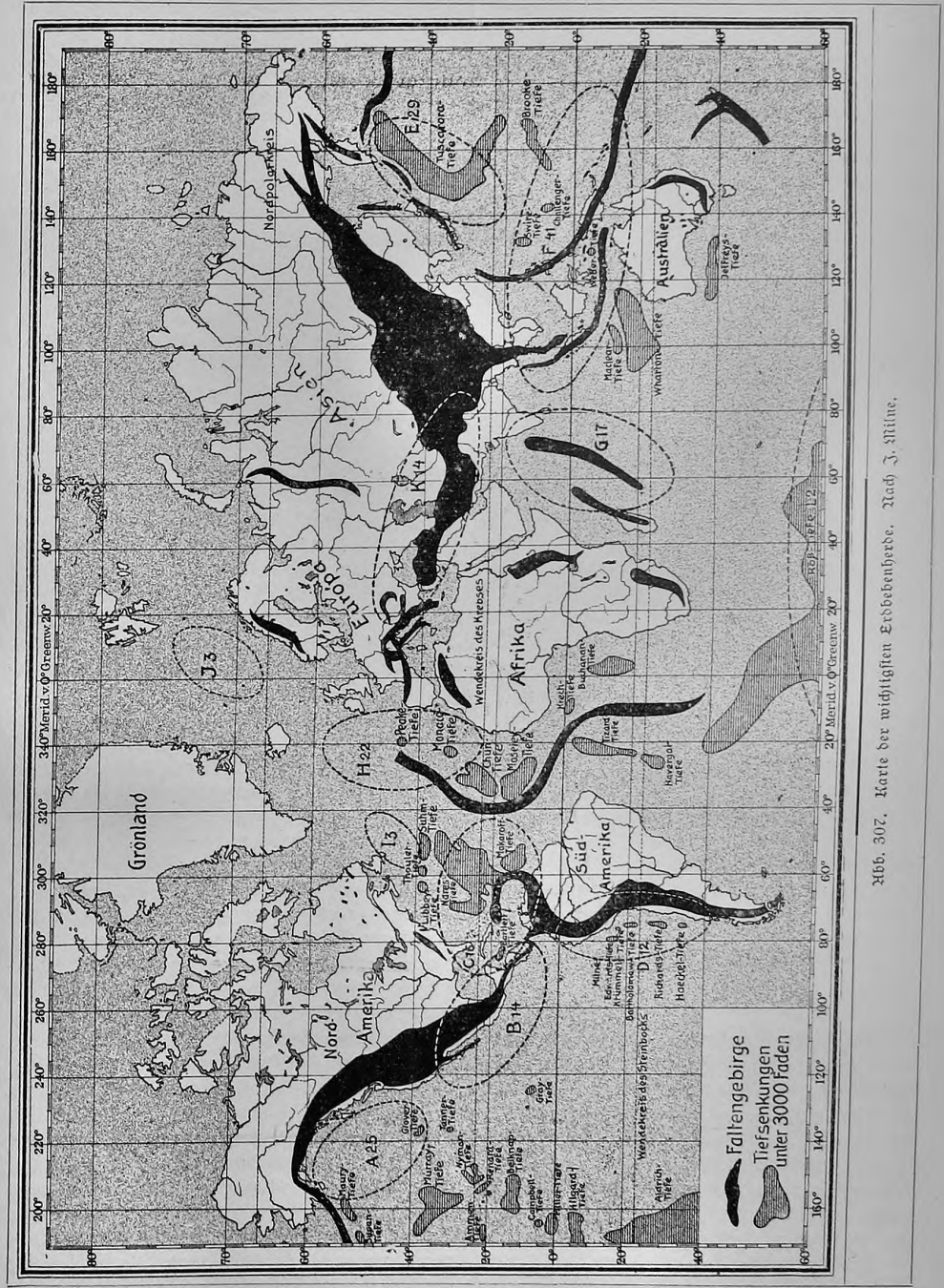
Die zirkumpazifische Zone umgibt, wie ihr Name andeutet, den Großen oder Stillen Ozean. Im Osten schließt ihn der gewaltige Zug der nord- und südamerikanischen Kordilleren vollständig ab. Von Alaska streichen die Ketten über die vulkanischen Aleuten hinüber nach Kamtschatka, wenden sich südlich und umfassen in weitem Bogen die Westhälfte des Ozeans. Die Inselgebirge Japans, der Philippinen, Neuguineas usw. bezeichnen ihren Lauf. Einen Seitenzweig bilden wohl die neuseeländischen Alpen. Nur das Schlußstück des Ringes scheint zu fehlen: zwischen Neuseeland und der Südspitze Amerikas klafft auf der Karte eine weite Lücke. Wahrscheinlich aber wird das größte aller Weltmeere auch im Süden von einer mächtigen Gebirgsmauer abgeschlossen, die über den noch wenig erforschten Südpolkontinent streicht und auf der einen Seite mit dem Feuerland, auf der anderen mit Neuseeland unterseeisch verbunden ist.

In die beigegebene Karte sind nach J. Milne die wichtigsten Erdbebenovale eingetragen, d. h. diejenigen Gegenden, von denen die großen weithin fühlbaren „Welterdbeben" ihren Ursprung nehmen.*) Die Ovale sind alphabetisch

*) Das Oval K 14 hat Milne offenbar zu eng gezeichnet. Nach den Beobachtungen der letzten Jahre muß es Italien und Sizilien noch mit umfassen.

bezeichnet; die beigefügten Zahlen geben an, wieviel Weltbeben in den Jahren 1899—1901 aus jeder einzelnen Herdgegend hervorgingen. Auf die pazifische Region allein fallen etwa zwei Drittel aller Erdbeben.

Das Studium der Erdbebengeographie führt


Faltengebirge
Tiefsenkungen unter 3000 Faden
Grönland
Nord Amerika
Süd Amerika
Afrika
Asien
Australien
Nordpolarkreis
Wendekreis des Krebses
Wendekreis des Steinbocks
Aleuten Tiefe
Japan Tiefe
Philippinen Tiefe
Marianen Tiefe
Yap Tiefe
Neuguinea Tiefe
Neuseeland Tiefe
Tonga Tiefe
Kermadec Tiefe
Neuhebriden Tiefe
Salomonen Tiefe
Neubritannien Tiefe
Neuirland Tiefe
Neuguinea Tiefe
Timor Tiefe
Sunda Tiefe
Celebes Tiefe
Sulu Tiefe
Celebes Tiefe
Molukken Tiefe
Banda Tiefe
Flores Tiefe
Java Tiefe
Sumatra Tiefe
Andaman Tiefe
Nikobaren Tiefe
Malakka Tiefe
Bengalen Tiefe
Arabien Tiefe
Indien Tiefe
Ceylon Tiefe
Maldiven Tiefe
Chagos Tiefe
Rodriguez Tiefe
Madagaskar Tiefe
Mozambik Tiefe
Natal Tiefe
Kapland Tiefe
Agulhas Tiefe
Südgeorgien Tiefe
Südsandwich Tiefe
Südorkney Tiefe
Südshetland Tiefe
Weddell Tiefe
Enderby Tiefe
Kerguelen Tiefe
Neuamsterdam Tiefe
Südpazifik Tiefe
Südamerika Tiefe
Peru Tiefe
Chile Tiefe
Atacama Tiefe
Guatemala Tiefe
Mexiko Tiefe
Kalifornien Tiefe
Aleuten Tiefe
Kamtschatka Tiefe
Kurilen

also zu dem interessanten Ergebnis, daß die festländischen Bebengebiete ziemlich genau mit den alten mesozoischen Geosynklinalen zusammenfallen, aus denen in der Tertiärzeit die heutigen Faltengebirge emporwuchsen. Wir haben früher die Geosynklinalen als schwache, leicht bewegliche Teile der Erdkruste definiert; eben diese Beweglichkeit verrät sich noch jetzt durch die zahlreichen, oft furchtbaren Erschütterungen, von denen jene Gebiete so oft heimgesucht werden. Man hat die tektonischen Beben „Nachklänge der Gebirgsfaltung" genannt; in vielen Fällen aber bedeuten sie wohl mehr als bloße Nachklänge. Die gleichen Kräfte, welche die Kettengebirge auftürmten, erschüttern noch heute von Zeit zu Zeit den gesamten Erdkomplexe kennen. An der gleichen Stelle (S. 364) wurde der Ansichten von Milne und Arrhenius gedacht, die in unterseeischen Rutschungen eine Hauptquelle der tektonischen Erdbeben erblicken.

Einige tatsächliche Beobachtungen, die zugunsten dieser Meinung sprechen, mögen hier nachgetragen werden. An den steilen Gehängen des Meeresbodens sind die Telegraphenkabel zahlreichen Beschädigungen ausgesetzt; bald werden sie zerdrückt und geknickt, bald gezerrt und ausgefranst, bald gewaltsam entzweigerissen. Die Mehrzahl der Kabelbrüche fällt mit großen Erdbeben, eine Minderzahl mit unterseeischen Vulkanausbrüchen zusammen. In manchen Fällen hat man beim Wiedergreifen des Kabels festgestellt, daß sich der Meeresboden an der Bruchstelle stark gesenkt hatte; bisweilen war das beschädigte Kabel in das abgerutschte Gestein eingeklemmt oder vollständig darunter begraben.

Abb. 308. Abgerutschtes Terrain am Hafendamm von Messina.

Kabelbrüche ereignen sich häufig an den gleichen oder an engbenachbarten Stellen des Ozeanbodens. Nach Hobbs reißen die atlantischen Kabel gewöhnlich in der Nähe der steilen Abdachung des Flemish Kap, 550 Seemeilen östlich von Neuengland. Hier laufen drei transatlantische Kabel in Abständen von 10 Seemeilen nebeneinander, die einmal alle gleichzeitig brachen, wobei die Bruchstellen auf einer geraden Linie lagen.

Auf starke Niveauveränderungen des Meeresgrundes deutet auch das gelegentlich beobachtete Absinken ganzer Küstenstriche. Bei dem großen Lissaboner Erdbeben versank der Hafenquai mit vielen Menschen und allen verankerten Schiffen 600 Fuß tief ins Meer. Das alte Kingston auf Jamaika wurde im Jahre 1692 zerstört und vom Meer verschlungen, beim Wiederaufbau wurde die Stadt auf die andere Seite des Hafens verlegt, aber bei der furchtbaren Katastrophe vom 14. Januar 1907 wiederholten sich die Senkungen und verschlangen einen weiteren Teil der Küste mit Gebäuden und Palmenhainen. Der Hafen selbst erlitt eine Vertiefung um neun Meter. An dem inneren Rand der Landzunge, die den Hafen einschließt, bildete sich eine Reihe von parallelen Verwerfungen, die desto tiefer

ball, und jene Katastrophen, die sich an die Namen Lissabon, Messina, San Franzisko usw. knüpfen, klären uns in nicht mißzuverstehender Weise darüber auf, daß die Gebirgsfaltung noch immer im Fortschreiten begriffen ist.

4. Dislokationsbeben.

Die letzten Ursachen der Gebirgsfaltung, somit auch der Tiefbeben liegen wahrscheinlich in Vorgängen, die sich innerhalb der schmelzflüssigen Zone vollziehen (Näheres darüber im Abschnitt „Bau der Faltengebirge" S. 364 ff.). Wie wir jedoch sahen, sind an der Entstehung der Kettengebirge auch mancherlei Kräfte beteiligt, die in der festen Erdkruste ihren Sitz haben. Als wichtigsten Faktor dieser Gruppe lernten wir die Gleitbewegung ausgedehnter Schicht-

Abb. 309. Durch Erdbeben verschobene Eisenbahnschienen.

absanken, je näher sie dem Strande kamen. Wohl der größte aus geschichtlicher Zeit bekannt gewordene Küstenbruch fand im Jahre 1762 in Indien statt, wo ein Gebiet von nicht weniger als 200 Quadratkilometer für immer ins Meer sank.

Die bedeutendsten Erdbebenherde der pazifischen Küsten liegen in *randlichen Tiefen* des Ozeans, wo naturgemäß Abbrüche und Rutschungen oft eintreten müssen. Von der Tuscaroratiefe bei Japan war schon früher die Rede; der südamerikanischen Küste sind fünf gewaltige Tiefsenkungen vorgelagert, die den Herden der zerstörendsten Beben von Peru und Chile entsprechen (vgl. die Karte).

Zweifellos haben jedoch viele Dislokationsbeben ganz andere Ursachen. Brüche, Verwerfungen, Überschiebungen und vulkanische Durchbrüche haben die Erdrinde in zahllose *Schollen* von der verschiedenartigsten Größe und Beschaffenheit zerlegt. Für gewöhnlich halten die Schollen einander das Gleichgewicht; wird aber die Belastung vermehrt (durch neue Schichtabsätze) oder vermindert (durch Abtragung), oder ändert sich sonstwie der gegenseitige Druck der Gebirgsteile, so kommt es zu *Spannungen*, die von Zeit zu Zeit eine gewaltsame Auslösung erzwingen. Plötzliche Verschiebungen der Gesteinschichten in wagerechter, schräger oder senkrechter Richtung sind die Folge; neue Verwerfungen entstehen, neue Spalten werden aufgerissen. Derartige Dislokationen äußern sich an der Erdoberfläche als heftige Erschütterungen und hinterlassen oft im Gelände deutlich sichtbare Spuren: ein Stück Land wird gehoben, ein anderes sinkt ab, Wege werden seitlich verschoben, Eisenbahnschienen geknickt und verdreht, (Abb. 309), weite Flächen von Spalten durchsetzt und zerstückelt. Einige interessante Vorgänge dieser Art, den Erdbeben der letzten Jahre entnommen, sollen im folgenden Kapitel näher geschildert werden.

Nochmals sei ausdrücklich hervorgehoben, daß die oberflächlichen Störungen kein Mittel bieten, die Tiefbeben von den eigentlichen Dislokationsbeben zu unterscheiden. Die *sichtbaren Folgeerscheinungen* sind bei beiden Gruppen genau die gleichen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die tektonischen Beben mit Vorliebe auf bestimmten Linien, den „*habituellen* (d. h. gewohnheitsmäßigen) *Stoßlinien*" auftreten. Diese Stellen dürften tiefgehenden Wunden der Erdkruste entsprechen, gewaltigen Bruchspalten, an denen das Gleichgewicht der Schollen immer wieder gestört wird. Das *Epizentrum* — so nennt man den Ort, wo das Beben *zuerst* empfunden wird, also seinen *Ausgangspunkt an der Erdoberfläche* — wandert sprungweise auf der Stoßlinie hin und her. In der Regel ist in der

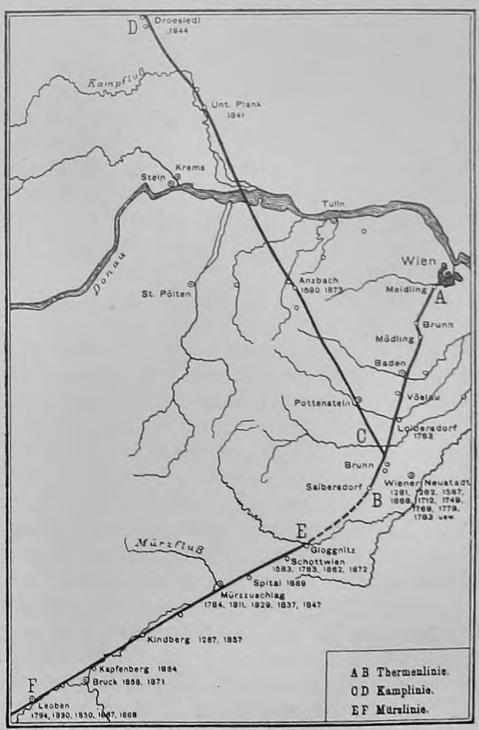


Abb. 310. Die Stoßlinien Niederösterreichs. Nach Sueß.

Gegend des Epizentrums die Erschütterung am heftigsten.

Die grundlegenden Arbeiten des Wiener Geologen E. Sueß und seiner Schüler haben uns den genauen Verlauf einer Anzahl italienischer und österreichischer Stoßlinien kennen gelehrt. Eine bogenförmige Erdbebenzone mit radialen Nebenstoßlinien umfaßt die jüngst so schwer heimgesuchten Gegenden Kalabriens und Siziliens (Abb. 13). Für Niederösterreich ist bedeutsam eine am Rand der Alpenkette von Wien bis Wiener Neustadt verlaufende Bruchlinie, die durch mehrere heiße Quellen, z. B. bei Meidling, Baden, Vöslau, gekennzeichnet ist und deshalb Thermenlinie genannt wird. Ihre Fortsetzung findet sie in der über Spital nach Leoben streichenden „Mürzlinie", die ebenfalls Schauplatz zahlreicher Erdbeben gewesen ist (die Jahreszahlen der stärksten Beben sind auf der Karte, Abb. 310, verzeichnet). Am dichtesten häufen sich die Erschütterungen in der Gegend von Wiener Neustadt, wo eine dritte Stoßlinie, die „Kamplinie", nach Nordwest abzweigt, und wo zugleich die bedeutendsten heißen Quellen dem tief zerrütteten Boden entströmen.

Um Deutschland nicht zu vergessen, sei die von Bingen nach Cleve ziehende Rheintallinie erwähnt, von der im vorigen Jahrhundert zahlreiche, wenn auch meist nur schwache Erdstöße ausgingen.

Zweites Kapitel. Die geologischen Wirkungen einiger großer Erdbeben.

Das Gebiet des japanischen Reichs gehört der alten zirkumpazifischen Geosynklinale an und liegt wohl auf dem allerunruhigsten, am wenigsten gesicherten Teil der Erdkruste. Aus älterer Zeit sind natürlich nur die schweren, zerstörenden Katastrophen überliefert; deren zählt man 223 in 1500 Jahren. Vom Anfang des 17. Jahrhunderts an hat durchschnittlich alle $2^1/_2$ Jahre irgendwo im Reich ein verheerendes Beben stattgefunden. Seitdem man auch die leichten Stöße aufzeichnet, ist die Zahl ins ungeheure gewachsen (am Tag durchschnittlich vier Stöße); es liegt also keine Übertreibung vor, wenn man die Gesamtzahl der Erschütterungen in den letzten 1500 Jahren auf rund zwei Millionen beziffert!

In jüngster Zeit (28. Oktober 1891) wurden die Provinzen Mino und Owari, fruchtbare, dicht besiedelte Ebenen, in wahrhaft entsetzlicher Weise heimgesucht. Der ganz plötzlich, ohne irgendwelche Vorzeichen, einsetzende Stoß legte im Augenblick 20 000 Gebäude nieder, unter deren Trümmern 7000 Menschen ihren Tod fanden. Wie auch bei anderen großen Erdbeben, brach in den halbzerstörten Häusern Feuer aus und verbrannte viele Verwundete, die sonst noch hätten gerettet werden können. Die Gesamtzahl der durch Erdbeben und Feuer vernichteten Gebäude belief sich auf etwa 120 000; ferner wurden 45 km Eisenbahnschienen und 520 km Deiche zerstört.

In wissenschaftlicher Hinsicht war das Mino-Owari-Beben besonders interessant durch die tiefeinschneidenden Veränderungen, die es im Gelände zurückließ. An manchen Stellen öffneten sich gewaltige Klüfte; die Erde war aufgewühlt, wie wenn eine gigantische Pflugschar über sie hinweggegangen wäre, längs solcher Spalten war der Boden nicht nur gesunken, sondern auch oft um mehrere Meter seitlich verschoben. Zwei ganze Dörfer sanken so tief, daß an ihrer Stelle ein Sumpf von zwei Quadratkilometer Flächeninhalt entstand. Die auffälligste Erscheinung bildete eine große Verwerfung, die das Neotal viele Kilometer weit annähernd in nordsüdlicher Richtung durchsetzte; an ihr kamen vertikale Bodenverschiebungen bis zu 6 m Sprunghöhe und horizontale bis zu 4 m Entfernung vor (besonders gut zu sehen auf Abb. 311, die eine Gegend darstellt, wo ein breiter Fahrweg die Verwerfung kreuzt. Das anscheinend gehobene Land im Hintergrund lag vor dem Beben im selben Niveau wie der Vordergrund).

In der Gegend der einsamen Yakutat-Bay in Alaska ereignete sich im September 1899 ein heftiges Erdbeben, über dessen Wirkungen zunächst nur ganz unbestimmte Berichte in die Öffentlichkeit drangen. Erst 1905, als zwei Geologen den Schauplatz dieser merkwürdigen Katastrophe besuchten, erfuhr man, daß eine große Fläche von Südalaska tiefgehende Umformungen erlitten hatte. Rund um die Yakutat-Bay schien das Land in einzelne Schollen zerlegt, die sich in entgegengesetzten Richtungen bewegt hatten. Viele waren gesunken, manche so tief, daß das Meer die Wälder überflutete und zum Absterben brachte; an anderen Stellen fand man 2—10 m, ja ausnahmsweise 16 m über dem heutigen Meeresspiegel frische Strand-

linien; diese Küstenstrecken hatten sich also um ebensoviel Meter gehoben. Daß die Hebung ganz jungen Datums war, sah man an den Seemuscheln, die noch an den vom Wasser verlassenen Felsen hafteten.

Abb. 311. Erdspalte bei Nidori, entstanden beim großen japanischen Erdbeben von 1891.

Wie die Neubildung verschiedener Inseln und Riffe zeigt, hat auch der Meeresboden der Bai an einzelnen Stellen starke Hebungen erfahren. Anderswo ragen langgestreckte Riffe, die vor dem Erdbeben nur bei Ebbe sichtbar waren, jetzt auch zur Flutzeit über das Wasser empor. Sehr interessant ist, daß diese Riffe den Bergketten des benachbarten Festlandes parallel laufen, — es sind gleichsam im Meer gelegene Vorketten, „embryonale" Gebirgszüge, deren Entstehung auf die gleichen Kräfte zurückgeht, die das 10 Meilen entfernte Massiv der Eliasberge aufgetürmt haben. Eine Wiederholung ähnlicher Ereignisse würde schließlich auch den Sockel der Riffe trocken legen und sie dem festländischen Gebirge angliedern. Dazu kommt die Existenz älterer Strandlinien und Meeresterrassen, die zum Teil dicht bewaldet sind, also vor langer Zeit entstanden sein müssen und uns zeigen, daß das jüngste Erdbeben nur eine Etappe in der fortschreitenden Hebung des Landes war. Offenbar wird die Küste Alaskas in längeren Zeiträumen von heftigen Erdbewegungen heimgesucht, die das Ziel verfolgen, neue Gebirgsketten aus dem Meere emporwachsen zu lassen.

Rund 3000 km südlich von der Yakutat-Bay liegt der Schauplatz des großen kalifornischen Bebens vom Jahre 1906. Kalifornien wird von einer langen, nahezu geraden Furche durchzogen, die das Küstengebirge schief durchschneidet und sich in der Richtung NW bis SO fast hundert geographische Meilen weit durch Bergketten, Täler und Wüsten verfolgen läßt (Abb. 312). Diese Furche entspricht einem „Erdbebenriß", einer großen Verwerfungszone der Erdkruste. Sie folgt im allgemeinen einer Reihe langer, schmaler Täler; wo sie über Berge zieht, liegt sie meist auf der Scheide zweier Talenden. An vielen Stellen wird ihr Verlauf durch grabenförmige Senkungen der Erdoberfläche oder durch langgestreckte Teiche und Seen markiert, die manchmal abflußlos sind und salziges Wasser enthalten. Schon in diluvialer Zeit scheinen von dieser großen Störungslinie häufige Erdbeben ausgegangen zu sein.

Bei dem Beben von 1906 fanden an der Verwerfung zahlreiche, horizontale Verschiebungen statt. Alle Zäune, Wege, Flüsse, Röhrenanlagen, Dämme, Überführungen usw., die die Verwerfung kreuzen, sind um einige (im

Abb. 312. Kartenskizze mit den Hauptstörungslinien des kalifornischen Bebens von 1906 (die große Verwerfungszone ist mit dem englischen Ausdruck „Fault" bezeichnet.) Nach Hobbs-Ruska.

Höchstfall sieben) Meter verschoben. Im allgemeinen bewegte sich das südwestlich (also seewärts) von der Spalte gelegene Land nach Nordwesten, nur zu Tomales-Bay unweit San Franzisko wurde eine Landungsbrücke in umgekehrter Richtung verschoben. Auf der Bruchlinie selbst und in ihrer nächsten Nähe richteten die Stöße die schlimmsten Verwüstungen an. Bäume wurden in großer Zahl entwurzelt, manche in geringer Höhe über der Erde abgebrochen, so daß der Stumpf unversehrt stehen blieb, andere zerlockerem Untergrund erbaut waren, während das auf Fels gegründete San Rafael, obwohl der Bruchlinie noch näher gelegen, mit geringen Beschädigungen davonkam. An der Suisun-Bay sanken die Schienen der Southern Pacific Bahn mehrere Fuß tief in den Boden ein.

San Franzisko selbst wird von mehreren kürzeren Verwerfungslinien durchschnitten. Obwohl der Hauptstoß auch hier von schreckenerregender Wirkung war und in den Straßen der Stadt zahlreiche Spalten und Vertiefungen ent-

Abb. 313. Messina am Neujahrstage 1909. Trümmer der Paläste am Hafen.

splitterten von der Wurzel ab. Das Erdreich zeigte eine fortlaufende Furchung mit zahllosen Querrissen; auch größere Spalten klafften auf und schlossen sich wieder, wobei eine Kuh vom Boden verschlungen wurde. Glücklicherweise liegt keine größere Stadt auf der Verwerfung.

Eine zweite Hauptstörungszone läuft, der ersten annähernd parallel, durch die Bai von San Franzisko, durch das Santa Rosa- und Santa Clara-Tal. In ihrer Nachbarschaft liegen die schwer geschädigten Provinzstädte Santa Rosa, San José, Stanford University u. a. Diese Orte litten besonders schwer, weil sie auf losem, standen, wurde doch der Hauptschaden nicht vom Erdbeben, sondern von Feuer verursacht, dem man nicht Halt gebieten konnte, weil die Hauptröhren der Wasserleitung geborsten waren. Die Stöße wirkten am verheerendsten auf sumpfigem und künstlich aufgeschüttetem Gelände, das sich der auf- und abschwingenden Erdkruste gegen über wie eine fremde, vollkommen unelastische Masse verhielt. Von großem Einfluß auf den Zerstörungsgrad war auch die Art der Baukonstruktion. Moderne Stahlbauten mit tiefen Grundmauern blieben ziemlich unberührt, ebenso gut gemauerte und gehörig fundamentierte

Ziegelbauten. Selbst 15 Stockwerk hohe Wolkenkratzer, die auf Sandgrund errichtet waren, wurden dank ihrer Fundamente aus Eisenbeton nur wenig beschädigt.

In manchen Erdbebengebieten, z. B. Kalifornien, Kalabrien, Jamaika, ist man auf Grund der neuesten Erfahrungen zur möglichst allgemeinen Verwendung des Eisenbetons übergegangen. So werden die neuen Regierungsgebäude zu Kingston vollständig aus diesem Material hergestellt, das bei zweckmäßiger Verwendung nicht nur gegen die direkte Wirkung der Stöße schützt, sondern auch dem Feuer in glänzender Weise widersteht. In anderer Weise, durch Konstruktion geeigneter Holzbauten, haben die Japaner das Problem des „erdbebenfesten Hauses" zu lösen gesucht. Im allgemeinen kann man sagen: ein Gebäude ist erdbebenfest, wenn alle seine Teile derart miteinander verbunden sind, daß nicht jeder für sich, sondern alle zusammen als einheitliche Masse die Schwingungen des Erdbodens mitmachen, mit anderen Worten: wenn sich das Gebäude wesentlich als Ganzes bewegt.

Bei vielen Erdbeben bilden sich im lockeren Boden rundliche Vertiefungen, trichter- und kraterförmige Löcher (Abb. 314), von deren Rand kurze Spalten nach allen Seiten ausstrahlen. In den Trichtern steigt das Grundwasser auf und schleppt Sand, Schlamm und kleine Steine mit sich, die nach dem Ablaufen des Wassers zurückbleiben. Wenn der nasse Sand schnell und unter starkem Druck aufwärts getrieben wird, kann er sich zu Sandkegeln auftürmen. In dieser Weise entstehen bisweilen kleine Schlammvulkane mit einer oder mehreren Öffnungen, aus denen Wasserstrahlen, Gasblasen und zäher Schlamm herausgepreßt werden.

Wie bei starken Erdbeben die einzelnen Schollen der Erdrinde sich heben und seitlich verschieben, so schwankt auch der Grundwasserspiegel (Abb. 215), steigt an der einen Stelle, fällt an der anderen und verursacht große Änderungen im Wasserstand der Brunnen und in der Ergiebigkeit der Quellen. Die Erdbebenchronik ist überaus reich an derartigen Beobachtungen. Nach heftigen Stößen füllen sich leere Brunnen bis zum Rande, andere trocknen aus, Quellen fließen trübe, werfen große Mengen Sand und Schlamm aus und versiegen dann plötzlich, heiße Quellen werden kalt, kalte erwärmen sich usw.

Solange sich diese Erscheinungen auf das erschütterte Gebiet selbst beschränken, haben sie nichts auffälliges, anders aber liegt die Sache, wenn sie sich in weiter Entfernung vom Schauplatz der Katastrophe bemerkbar machen. Die seltsamsten Nachwirkungen in weit abgelegenen Ländern hat das große Lissaboner Erdbeben (1. Nov. 1755) gezeitigt. Die heißen Quellen von Teplitz wurden um dieselbe Zeit trübe und blieben plötzlich ganz aus; als sie nach langer Pause wieder hervorbrachen, waren sie durch Eisen blutrot gefärbt und flossen so

Abb. 314. Ein kraterförmiges Loch, entstanden beim Erdbeben von Charleston im August 1886.

stark, daß alle Badebassins überliefen und ein Teil der Stadt überschwemmt wurde. Trotz ruhigen Wetters beobachtete man am Tag der Katastrophe eine heftige Unruhe der Ostsee, ebenso gerieten einige norddeutsche Binnenseen in unerklärlichen Aufruhr. Auch der kleine, in einsamer Waldeinsamkeit gelegene Hechtsee bei Kufstein (Tirol) wallte plötzlich auf und überschwemmte seine Ufer. Man könnte ein derartiges Zusammentreffen für Zufall halten, hätte es sich nicht ein paar Jahre später in auffälliger Weise wiederholt. Nachdem am 31. März 1761 neue, heftige Erdstöße die Bevölkerung Portugals in Schrecken versetzt hatten, zerbrach am folgenden Tage der Hechtsee seine Eisdecke, trat über die Ufer und warf eine Menge Erdstoffe aus, was bewies, daß sein ganzer Grund aufgewühlt worden war.

Wie derartige Fernwirkungen der Erdbeben zustandekommen, warum sie sich nur an einzelnen Quellen und Seen zeigen, während zahllose andere, dem Schauplatz des Bebens viel näher gelegene Gewässer gänzlich unbeeinflußt bleiben, das sind Fragen, deren Beantwortung eine viel gründlichere Kenntnis vom Bau der Erdrinde voraussetzt, als wir heute besitzen.

Eins der furchtbarsten Erdbeben, die die Geschichte kennt, war das kalabrische vom Jahr 1783. Sobald Kalabrien genannt wird, pflegen wir an die jüngste Katastrophe zu denken, der Messina und Reggio zum Opfer fielen, aber obwohl im Jahr 1908 der Menschenverlust weit bedeutender war,*) blieben die geologischen Wirkungen weit hinter denen des älteren Bebens zurück, — die damalige Erschütterung muß eine viel tiefergreifende und intensivere gewesen sein.

Über die Dezemberkatastrophe von 1908 liegen jetzt ausführliche wissenschaftliche Untersuchungen vor. Aus ihnen ergibt sich, daß die Landoberfläche des erschütterten Gebiets nur verhältnismäßig unbedeutende Veränderungen erlitt. An der Marina von Messina bildete sich eine breite Spalte (Abb. 315), das Pflaster wurde auseinandergerissen, Teile der Kaimauer stürzten ins Meer. An anderen Stellen sah man die Pflastersteine auf weite Strecken in wellenförmige Falten gelegt (Abb. 316). Im übrigen beschränkte sich die geologische Wirkung der Stöße fast vollständig auf Bildung zahlreicher, schmaler Spalten, die größtenteils der Küste parallel liefen.

Abb. 315. Spaltenbildung an der Marina von Messina.

Bedenkt man, daß die Wucht der Stöße genügte, um zwei volkreiche Städte und viele kleine Ortschaften in Trümmer zu legen, so erscheint die Widerstandsfähigkeit des Bodens sehr auffällig. Keine Spur jener weitreichenden senkrechten oder wagerechten Verschiebungen, die doch mit den meisten Erdbeben von ähnlicher Stärke verknüpft sind! Nur eine allgemeine Senkung des Schwemmlandes um 30—50 cm wurde festgestellt, eine Erscheinung, die jeden-

*) Nach neueren Angaben beläuft sich die Gesamtzahl der Toten (einschl. der später in den Hospitälern Gestorbenen) auf etwa 83000. Beim Erdbeben von 1783 kamen 30000 Menschen ums Leben.

falls als Gleitbewegung der lockeren Schichten gegen das Meer hin aufzufassen ist. Das gänzliche Fehlen tiefgreifender Veränderungen spricht entschieden gegen die oft geäußerte Meinung, daß die Katastrophe von Messina auf „tektonische" Ursachen zurückzuführen sei. Ihrem ganzen Charakter nach paßt sie besser in die Gruppe der vulkanischen Tiefbeben, deren Ursprung in den Übergangsschichten zwischen der festen und flüssigen Erdzone zu suchen ist.

Wenden wir uns nun dem kalabrischen Beben von 1783 zu, dessen Wirkungen auf die Bodengestaltung weit umfassender und nachhaltiger waren! Nach den Berichten der Akademie von Neapel vollführte der Boden so heftige Schaukelbewegungen, daß große Bäume mit ihren Gipfeln die Erde berührten und viele Menschen von Erbrechen befallen wurden. Die Spaltenbildung nahm kolossalen Umfang an. In Terranuova wurde ein großer Turm durch eine senkrechte Spalte halbiert und die eine Hälfte mit ihren Fundamenten aus der Erde gehoben. Gleich darauf schloß sich die Spalte wieder so fest, daß kein Riß im Mauerwerk zu sehen war, nur ragte die eine Seite jetzt höher auf als die andere. Mehrfach wurde ein rasches, abwechselndes Öffnen und Schließen der Spalten beobachtet. Tiere und Menschen, die in plötzlich entstandenen Klüften verschwunden waren, wurden nach kurzer Zeit zusammen mit einem Schwall von Wasser und Sand wieder ausgeworfen. Manche Spalten verschlangen ganze Häuser, die man später wieder auszugraben versuchte; dabei zeigte sich, daß sie wie Pappe zusammengepreßt worden waren. In einem dieser Erdschlünde versanken vier Pachthöfe mit mehreren großen Wohnhäusern und Ölmagazinen, ohne daß die geringste Spur übrig blieb.

Die Gesamtzahl der Spalten im erschütterten Gebiet belief sich auf viele Tausende. Sie verliefen im allgemeinen geradlinig, häufig direkt an den Grenzen der älteren und jüngeren Formationen oder parallel den Schluchten und Abhängen des Gebirges. Manche ließen sich 1 bis 2 km weit verfolgen, und erreichten stellenweise eine Breite von 30 und mehr Meter.

Auch Verwerfungen waren zahlreich, namentlich vertikale Verschiebungen bis zu drei Meter Höhenunterschied. Sehr bemerkenswert ist, daß auch die kristallinische Zentralmasse Kalabriens schwere Erschütterungen erlitt, während sonst der feste Felsboden Schutz vor der Gewalt der Stöße gewährt. Am furchtbarsten soll die Zerstörung entlang der Linie gewesen sein, wo die kristallinischen Felsberge steil aus der von jüngeren Ablagerungen bedeckten kalabrischen Ebene aufragen. Nach der Katastrophe zeigte sich, daß die Berge scheinbar höher geworden waren, in Wirklichkeit hatte sich die Ebene an ihrem Fuße gesenkt.

An den Abhängen des Gebirges gingen zahlreiche Bergstürze und Erdrutsche nieder.

Abb. 316. Aufgerissenes Pflaster in Messina, das die wellenförmige Bewegung des Stoßes zeigt.

Mitunter geschah dies auf ganz sanfte Weise: bei Seminara glitt ein großer Oliven- und Obstgarten samt dem darin gelegenen Wohnhause 200 Fuß weit abwärts; das Haus litt keinen Schaden und die Olivenbäume fuhren fort zu wachsen, obgleich sie nun im Tal standen, und gaben dasselbe Jahr reiche Ernte. An anderen Stellen richteten die Erdrutsche schlimme Verheerungen an. Die Klippen der Scylla stürzten zum Teil ein, Felsriffe verschwanden, der Boden der Meerenge von Messina erlitt beträchtliche Veränderungen.

Manche Flächen Kalabriens waren übersät mit Erdtrichtern und Sandkegeln (vgl. oben). Zahllose Pfützen sah man über das Land verstreut, und nicht weniger als 215 größere Teiche und Seen waren neu entstanden, teils in Vertiefungen des Bodens, teils als Folgeerschei-

nungen der Bergrutsche, die die Bäche und Flüsse abdämmten. Eine große Spalte im Grund eines Tales lieferte so reichliche, andauernd fließende Wassermengen, daß sich dort der 550 m lange und 16 m tiefe Lago di Tolfilo bildete.

Drittes Kapitel. Flutwellen und Seebeben.

Nur allzu häufig muß die Erdbebenchronik von verheerenden Flutwellen berichten, die sich kurz nach dem Hauptstoß über die Küste ergossen und bisweilen größeren Schaden und Verlust an Menschenleben verursachten als das Erdbeben selbst. In der Regel weicht das Meer zunächst beträchtlich zurück, oft weit hinter den tiefsten Ebbestand, um dann nach einiger Zeit (höchstens ein paar Stunden) der Ruhe mit furchtbarer Gewalt aufs Land zu stürzen.

Ein Beispiel dafür findet sich schon bei Herodot. Als die Perser im Jahre 479 v. Chr. Potidäa belagerten, setzte plötzlich eine starke Ebbe ein, die längere Zeit anhielt. Die Perser wollten auf dem trocken liegenden Meeresgrund gegen die Stadt vorrücken, hatten aber kaum die Hälfte des Weges zurückgelegt, als eine mächtige Flutwelle sie einholte und den größten Teil des Heeres in die Tiefe riß. Was noch übrig blieb, wurde von den Potidäern niedergemacht, die in der merkwürdigen Katastrophe einen Racheakt des Poseidon erblickten, dessen Tempel die Perser angeblich entweiht hatten.

Aus neuerer Zeit wäre zunächst die große, dem Lissaboner Erdbeben folgende Sturzwelle zu erwähnen. Ihre Höhe betrug 12, nach anderen Berichten gar 20 m; sie pflanzte sich weit in den Atlantischen Ozean fort und überschwemmte noch einzelne Hafenorte an der irländischen Küste. 60 000 Menschen sollen allein in Lissabon der Hochflut zum Opfer gefallen sein, doppelt soviel, wie wenige Minuten früher durch die Stöße und den Einbruch des Kais (vgl. oben) ums Leben gekommen waren.

Bei dem kalabrischen Erdbeben von 1783 wälzte sich kurz nach dem Einsturz der Scyllaklippen eine 7 m hohe Meereswoge über das flache Küstenland und riß bei ihrem Rückzug 2473 Einwohner von Scylla mit sich fort. Auch die Katastrophe von 1908 war von einer gewaltigen Flutwelle begleitet, die in Reggio die am Meer gelegenen Straßen völlig wegrasierte, Barken auf den Dächern niedersetzte und noch mehrere Tausend Menschen verschlang. Hinterher war das Meer in der Straße von Messina bedeckt mit Schiffstrümmern, Balkenwerk, zerschellten Möbeln, auch treibende Leichen wurden bemerkt. Merkwürdigerweise wich bei diesem Erdbeben die See nicht vor, sondern nach der Hochflut zurück, stieg dann ganz allmählich an, und erreichte erst eine Stunde später ihr gewohntes Niveau.

Eine Erdbebenflut von ganz außergewöhnlicher Heftigkeit stürzte sich am 15. Juni 1896 auf die japanische Küste in der Gegend von Kamaïshi. Die mauergleiche, 17 m hohe Woge zerstörte eine große Zahl Ortschaften, tötete 27 000 Menschen und versetzte den Großen Ozean bis nach Hawai und Oregon hinüber in stürmische Bewegung. Erst nach 16 Stunden legte sich die Gewalt der Wellen.

Wie entstehen nun diese verderblichen Erdbebenfluten? Die älteren Geophysiker erklärten sie als Nachwirkung festländischer Beben, deren Epizentrum in der Nähe der Küste gelegen sei. In diesem Falle werde auch der Meeresboden stark erschüttert und der Gleichgewichtszustand der Wassermasse erheblich gestört, das Meer gerate in heftige Wellenbewegung, die alle Tiefen ergreife und sich in ähnlicher Weise wie die gewöhnliche Flut nach allen Richtungen fortpflanze.

Wenn diese Ansicht das Richtige träfe, müßte jedes stärkere Küstenerdbeben eine entsprechend große Flutwelle hervorrufen, was aber durchaus nicht zutrifft; im Gegenteil, sehr häufig bleibt die Meeresfläche während und nach der Katastrophe vollkommen ruhig. Als Beispiel diene das kalifornische Erdbeben von 1906, das trotz der gewaltsamen Bodenbewegungen von keiner Flutwelle begleitet wurde. Die Erdbebenfluten müssen also wohl von Kräften herrühren, die auf dem Meeresgrund selbst tätig sind. Der Straßburger Seismologe E. Rudolph, bekannt durch seine ausgezeichneten Studien über Seebeben, sucht die Ursache in unterseeischen Vulkanausbrüchen. Daß solche Eruptionen in der Tat verheerende Sturzwellen von 20 bis 30 m Höhe hervorrufen können, hat man bei der Krakatoakatastrophe gesehen (vgl. S. 100). In diesem Falle handelt es sich allerdings um die Explosion eines die Meeresfläche überragenden Inselvulkans. Unterseeische Ausbrüche vollziehen sich in der Regel so: das Meer wallt auf, als geriete es ins Kochen, oft steigt eine mächtige Wassersäule zu bedeutender Höhe auf, Dampfwolken, vermischt mit Asche und Bimssteinmassen, werden emporgeschleudert. Bisswei-

len bleiben auch dergleichen gewaltsame Erscheinungen aus, und nur die starke Erwärmung des Meereswassers verrät, daß auf dem Grunde frische Lavaergüsse stattgefunden haben.

Diese Erklärung reicht jedoch nicht für alle Fälle aus, denn nur eine Minderzahl der Flutwellen läßt sich direkt mit unterseeischen Eruptionen in Zusammenhang bringen. Bei den übrigen weiß man nichts von gleichzeitigen Vulkanausbrüchen. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind sie eine Begleiterscheinung der Seebeben.

War es schon bei Erschütterungen des Landes oft sehr schwierig, zwischen vulkanischen und tektonischen Beben zu unterscheiden, so wird dies bei Seebeben zur vollkommenen Unmöglichkeit. Ob Einbrüche des Meeresbodens, ob Rutschungen an den unterseeischen Steilhängen, ob Bewegungen des Magmas die Schuld tragen, darüber kann man im Einzelfall nur Vermutungen hegen. E. Rudolph schreibt dem Magma die Fähigkeit zu, in die unterseeische Rinde gleichsam Keile (sogenannte Eruptivstöcke, vgl. S. 133) zu treiben, wodurch der Meeresboden stark erschüttert wird. In vielen Fällen dürfte diese Erklärung den Vorzug verdienen, nur gibt sie keinen Aufschluß über das oft beobachtete Zurückweichen des Wassers von den Ufern, dem nach kurzer Zeit verheerende Sturzwellen folgen (vgl. den Schluß des Kapitels).

Wird ein fahrendes Schiff von einem Stoß getroffen, so haben in der Regel die Insassen die Empfindung, als gleite das Schiff mit rasselndem Geräusch über eine Sandbank, oder als sei es plötzlich auf einen Felsen oder ein Korallenriff gestoßen. So berichtet Kapitän W. G. E. Walther vom Schiff „Niphon" über ein schweres Seebeben, das er im Februar 1873 in der Ombaaistraße bestand: „Bei gänzlicher Windstille bemerkten wir plötzlich um 4 Uhr nachmittags eine schwere Erschütterung im Schiffe, wie wenn es über eine Bank oder ein Riff geschoben würde, so daß alle losen Gegenstände auf Deck sowie die Masten in Bewegung gerieten; das hielt eine volle Minute an. Übrigens bemerkten wir trotzdem keine Veränderung im Wasser."

Die letzterwähnte Beobachtung: glatte See im Augenblick des Bebens, ist, so verwunderlich sie klingt, häufig gemacht worden, ja es gibt Berichte, nach denen ein gerade herrschender starker Seegang vollkommen aufhörte, solange die Stöße währten. In anderen Fällen wurden jedoch entgegengesetzte Wirkungen wahrgenommen: Aufwallen des Meeres, heftige Wellenbewegung wie bei Sturm, Aufsteigen von Wassersäulen, endlich wird in einem Falle berichtet, daß unmittelbar nach dem Stoß die See in ihrer ganzen Masse sich gehoben und einige Sekunden lang ein flaches Gewölbe mit glatter Oberfläche gebildet habe. Dergleichen auffallende Störungen gehen vielleicht weniger auf Seebeben als auf unterseeische Vulkanausbrüche zurück.

Befindet sich das Schiff gerade über dem Epizentrum, so wird es durch den senkrecht von unten kommenden Stoß in die Höhe geschleudert.

Abb. 317. Das beim Erdbeben vom 16. Aug. 1906 zerstörte Theater in Valparaiso.

Als am 25. September 1855 die Brigg „Simproniana" in den Hafen von Truxillo einlief, wurde sie plötzlich senkrecht emporgehoben und fiel dann wie eine Bleimasse zurück, so daß die See ringsum hoch aufspritzte. In ähnlicher Weise werden oft Fische aus dem Wasser geschnellt, die hinterher tot oder mit geplatzter Schwimmblase, also hilflos, auf dem Meere treiben.

Die Einwirkungen der Seebeben auf das Festland sind von zweierlei Art. Zunächst pflanzt sich die Erschütterung des Meeresbodens durch die Felsschichten bis zur Landoberfläche fort, wo sie oft noch stark genug ist, die schlimmsten Zerstörungen anzurichten. Jene gewaltigen Dislokationsbeben, die nur allzu oft die japanischen und südamerikanischen Küsten heimsuchen,

gehen, wie wir sahen, zum größten Teil von den benachbarten Tiefseemulden (Tuscaroratiefe usw.) aus, sind somit ihrem Ursprung nach *Seebeben*. Begleitet werden sie von kolossalen *Flutwellen*, in denen wir die *zweite*, nicht minder furchtbare Wirkung der Seebeben auf das feste Land erkennen.

Nach *Hobbs* kommen diese Flutwellen auf folgende Weise zustande. Bei starken Erdbeben vertiefen sich, wie mehrfach durch Lotungen nachgewiesen wurde, die Depressionen des Meeresbodens; der Grund bricht ein, vielleicht klaffen auch riesige Spalten auf, die sich erst nach einiger Zeit wieder schließen. In die neu entstandenen Abgründe wirbelt das Wasser von allen Seiten hinein, daher die starke Ebbe an den umliegenden Küsten. Klemmt sich die Spalte wieder zu, so wird das Wasser mit furchtbarer Gewalt herausgepreßt und wirft sich als haushohe Sturzwelle auf die benachbarten Ufer. Auch ohne Voraussetzung klaffender Spalten läßt sich die Entstehung der Flutwellen begreifen, denn die Wirbelbewegung zieht wahrscheinlich eine weit größere Wassermasse nach der abgesunkenen Fläche hin, als der Hohlraum fassen kann; über der neugebildeten Depression wird sich also ein *Wasserberg* anhäufen, der sich später nach allen Seiten ausbreitet und die Küsten überschwemmt.

Bleiben wie bei dem kalifornischen Erdbeben von 1906 die Flutwellen aus, so müssen wir annehmen, daß der Meeresgrund keine wesentliche Umformung erfahren hat.

Viertes Kapitel. Fortpflanzung der Erdbeben.

Unmittelbar über dem unterirdischen Erregungsort, also im *epizentralen* Gebiet (vgl. oben), wird sich die Erderschütterung in senkrecht oder steil von unten nach oben gerichteten *Stößen* fühlbar machen. Sie wirken außerordentlich zerstörend, schleudern Häuser samt den Fundamenten empor und lassen Felsen auf und nieder tanzen.

Schwächere Stöße dieser Art werden als ein Klopfen gegen die Fußsohlen empfunden.

Bei vielen Erdbeben hat man im epizentralen Gebiet eigenartige *Drehungen* von Gegenständen beobachtet, in jüngster Zeit namentlich bei der Katastrophe von Kingston. Dort wurde z. B. die Statue der Königin Victoria auf ihrem Sockel um 45 Grad gedreht. Etwas Ähnliches ereignete sich zu Aachen bei dem rheinischen Erdbeben vom 26. August 1878. Die Fassade der Aachener Technischen Hochschule wird von einer 3 m hohen Statue der Minerva gekrönt, die aus drei Steinblöcken zusammengesetzt ist. Nach dem Stoß standen die drei Teile der Figur völlig verdreht und verschoben da, auch waren die Arme samt der Lanze abgebrochen und zu Boden gefallen.

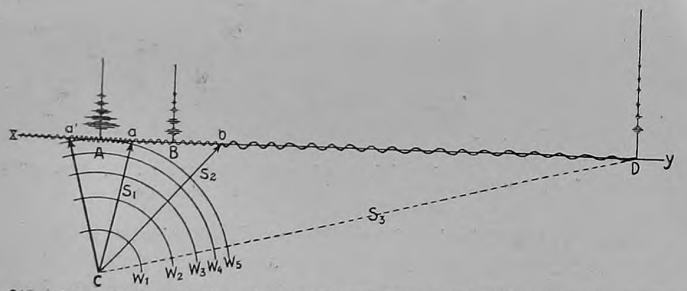


Abb. 318. Schematische Darstellung der verschiedenen Arten von Erdbebenwellen (Kugelwellen und Oberflächenwellen). Nach A. Belar.

Bei dem furchtbaren kalabrischen Erdbeben des Jahres 1783 wurden einzelne Häuser mit großer Gewalt emporgeschnellt und an höher gelegenen Stellen wieder niedergesetzt, die Steine des Straßenpflasters flogen wie Wurfgeschosse mehrere Meter in die Höhe. Zu Terranuova wurde ein steinerner Brunnen aus dem Boden gehoben und stand nach dem Beben wie ein kleiner Turm aufrecht da. Zu Riobamba wurden 1797 die Leichen aus den Gräbern geschleudert und viele Menschen über den Fluß hinweg auf einen ziemlich hohen Hügel geworfen.

Einige Zeitlang hielt man derartige Drehungen für die Folge einer besonderen, *wirbelförmigen* Erschütterung des Erdbodens, aber

niemals hat ein Beobachter den Boden selbst wirbelnde Bewegungen ausführen sehen. Wahrscheinlich kommen die Drehungen dadurch zustande, daß aus verschiedenen Richtungen kommende Stöße (oder Wellen) kurz hintereinander auf die Gegenstände einwirken.

Um die Fortpflanzung eines Erdbebens von seinem Herd bzw. vom Epizentrum aus zu verstehen, betrachten wir Abb. 318. Der unterirdische Herd C sendet nach allen Seiten *Kugelwellen* aus, auch Erdwellen genannt (W 1, W 2 usw.), die sich im Erdinnern ausbreiten und zuerst auf dem kürzesten Wege bei a a' die Erdoberfläche erreichen. Hier ist das *epizentrale* Gebiet, hier werden nur senkrecht von unten kommende Stöße verspürt. In der Nachbarzone a b werden aufmerksame Beobachter *zuerst* einen Stoß oder eine zitternde Bewegung und *dann* einzelne Schwankungen wahrnehmen. Hier kommen also *zweierlei* Wellenarten zur Beobachtung, erstens die „Erdwellen" und zweitens „Oberflächenwellen", die vom Epizentrum A ausgegangen sind und bereits eine längere Schwingungsdauer angenommen haben. Sie breiten sich nur in den oberflächlichen Teilen der Erdrinde aus und werden mit zunehmendem Abstand vom Epizentrum immer flacher, was zur Folge hat, daß sie in etwa 500 km Entfernung (Punkt D) vom Ursprungsort den menschlichen Sinnen direkt nicht mehr wahrnehmbar sind.

Seekrankheit. Ähnliche Wahrnehmungen, z. B. die plötzliche Bildung von Wölbungen oder Rücken des Erdbodens, die sich dann nach Art rollender Wellen fortbewegten, — wurden noch bei einer Reihe anderer Erdbeben gemacht.

Die *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* der Bebenwellen ist beträchtlichen Schwankungen unterworfen und vor allem von der so mannigfaltigen Gliederung der Erdrinde abhängig. Dichte und Mineralbestand der Felsarten, Schichtung, Brüche, Verwerfungen und andere Störungen des Zusammenhangs der Schichten üben hier bestimmenden Einfluß aus. Je größer die Dichte eines Gesteins, um so geringer ist die Verschiebbarkeit der Teilchen, und um so rascher pflanzt sich die Bewegung fort. So kommt es,

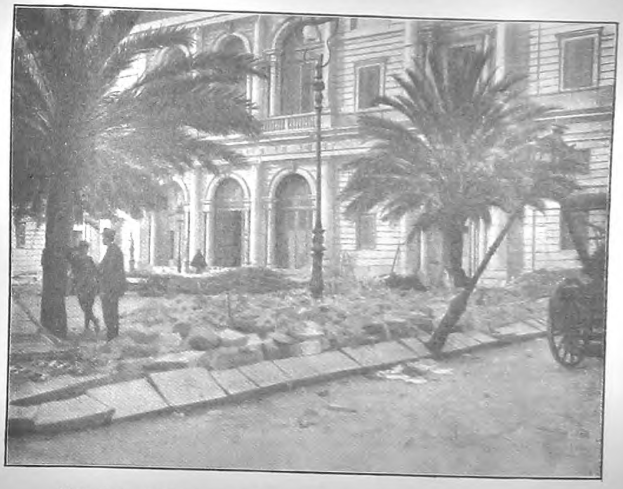


Abb. 318. Messina am 2. Januar 1909. Piazza del Municipio. Die Pflastersteine sind dachartig gegeneinander geschoben.

Oft sind Zweifel geäußert worden, ob die „feste" Erdrinde wirklich imstande sei, Wellen zu schlagen wie ein im Sturme brandendes Meer. Es liegen aber von mehreren großen Erdbeben beglaubigte Berichte vor, die das tatsächliche Vorkommen *sichtbarer* Bodenwellen außer Zweifel stellen. So beobachtete der Ingenieur Kildoyle während des großen japanischen Bebens von 1891 in Alaska fußhohe Bodenwellen, deren Kämme in Abständen von 3 bis 10 m die Straße herabrollten. Bei der furchtbaren Katastrophe von Assam (12. Juni 1897) sah ein englischer Geologe, der sich rechtzeitig ins Freie gerettet hatte, wie die Erde heftige Wellen schlug, als ob sie aus weichem Gallert bestände; sie schienen sich auf der Oberfläche auszubreiten und verursachten ihm ein Gefühl von Übelkeit wie bei

daß die Wellen in festem Gestein schneller fortschreiten als in lockerem Geröll, Sand oder Schwemmland; aber auch in den einzelnen Felsarten ist die Geschwindigkeit verschieden, z. B. in kompakten, harten Tiefengesteinen viel bedeutender als in vulkanischem Tuff, poröser Lava, Sandstein und Tonschiefer. Auch der Wassergehalt der betreffenden Erdschicht ist von Wichtigkeit.

So erklärt es sich, daß die Berechnung der *mittleren Fortpflanzungsgeschwindigkeit* bei verschiedenen Erdbeben stark abweichende Werte liefert. Von 2—300 m in der Sekunde steigt sie unter Umständen auf den zehnfachen Betrag, ja erreicht in einzelnen Fällen 10 bis 15 km.

Man hat ziemlich allgemein die Beobach-

tung gemacht, daß die zerstörende Wirkung der Erdstöße in lockerem Boden viel heftiger ist als in festem Gestein. Die auf Sand, Schotter, Lehmboden usw. stehenden Gebäude werden viel stärker in Mitleidenschaft gezogen als die auf kompaktem Felsboden erbauten Ansiedlungen. Sehr klar trat dieser Einfluß der Bodenbeschaffenheit bei dem verheerenden Beben von Belluno (29. Juni 1873) hervor. Damals er-

Abb. 319. Diagramme verschiedener Fernbeben. (Nach W. Laska.)

litten alle auf lockerem Schotterboden liegenden Ortschaften die schlimmsten Zerstörungen, während in der Mitte des verheerten Gebietes, wo ein Nummulitenkalkrücken, der Col di Pera, sich erhebt, die Stöße fast gar keinen Schaden anzurichten vermochten. Gegenden, die trotz der Bebenhäufigkeit ihrer Umgebung, in der Regel von der Erschütterung verschont bleiben, nennt man Erdbebeninseln.

Um zu verstehen, warum die Stöße auf lockerem Boden viel gefährlicher sind, mache man sich klar, daß der Erdbebenschaden den Entfernungen entspricht, um welche die Teile des Untergrundes gegen einander verschoben werden. Unter Kohäsion versteht man bekanntlich den Widerstand, den ein Körper der Trennung seiner Teile entgegensetzt. Sand, Kies, gewöhnliches Erdreich usw. besitzen eine sehr geringe Kohäsion, daher wird ein Stoß ihre Teile in heftige Bewegung versetzen. Das Umgekehrte gilt für festes Felsgestein. Am schlimmsten gestalten sich die Verheerungen, wenn eine dünne, lockere Bodenschicht mächtigen Felsmassen oberflächlich aufgelagert ist; dann werden die obersten Lagen emporgeschleudert wie loser Sand auf dem Resonanzboden eines Klaviers.

Dies gilt jedoch nur für das epizentrale Gebiet und seine nächste Umgebung, denn, wie oben erwähnt, pflanzen sich die Erdbebenwellen in lockerem Material langsamer fort als im kompakten Felsuntergrund und verlieren rasch an Kraft, wenn sie weitausgedehnte Sand- und Lehmschichten durchlaufen. In größerer Entfernung vom Epizentrum bilden also derartige Ablagerungen einen sicheren Schutz gegen Erdstöße. Daraus erklärt sich z. B. die Seltenheit der Erdbeben im gesamten Bereich der norddeutschen Tiefebene, wo die diluviale Schuttdecke an vielen Stellen eine Mächtigkeit von 100—200 m erreicht.

Die Fernbeben.

Als Fernbeben bezeichnet man die von einem weit entfernten Erdbebenherde stammenden Bodenschwingungen. Wegen der Länge des durchlaufenen Weges entziehen sie sich der direkten körperlichen Wahrnehmung, lassen sich jedoch mittels empfindlicher Instrumente, der Seismometer oder Erdbebenmesser, in aller Schärfe nachweisen.

Die modernen Seismometer sind durchweg Pendelapparate, die ihre Bewegungen, die Pendelausschläge, auf automatisch abrollende Papierstreifen übertragen. Bei manchen Systemen geschieht dies auf mechanischem Wege, einfach mittels eines am Apparat angebrachten Schreibstiftes, der die Schwingungen auf berußtem Papier aufzeichnet. Andere Apparate sind mit einer Lampe verbunden, deren Licht durch zwei kleine Spiegel auf photographisches Papier gelenkt wird. Bei vollkommener Ruhe zeigt sich

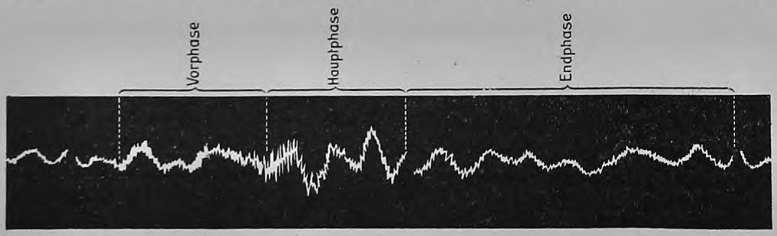


Abb. 320. Diagramm des Böhmerwaldbebens vom 26. November 1902. (Nach F. Etzold.)

(nach der Entwicklung) die Lichtspur als feine gerade Linie; tritt aber eine Erschütterung ein, so nimmt sie die Gestalt eines breiten, an- und abschwellenden Streifens an.

Die Aufzeichnungen der Erdbebenmesser werden Diagramme genannt. Auf den ersten Blick sieht das Diagramm eines Fernbebens kaum anders aus als ein dicker verwischter Tintenstrich (Abb. 319), und dem Laien mag es

wohl unmöglich scheinen, in diese aneinander gereihten Kleckse und Kritze einen Sinn hineinzubringen. Vergleicht man aber eine größere Anzahl Diagramme miteinander, so erkennt man, daß sie in der Regel mit einer oder zwei schwachen Verdickungen der Linie beginnen, denen nach rechts mehrere starke, oft weit über die Linie hervorragende Anschwellungen folgen. Die schmalen Auswüchse rühren von schwachen, die breiten von kräftigen Schwingungen des Erdbodens her. Jedes Fernbeben wird also von einer Vorstörung eingeleitet, die nur geringe Kraft besitzt, und darauf folgt mit plötzlichem Ruck die Hauptstörung, die nach einigen sehr heftigen Ausschlägen allmählich in die Endstörung übergeht, deren langsam abnehmende Schwingungen oft stundenlang andauern (Abb. 320).

Diese Teilung der Fernbeben in drei wohl unterscheidbare „Phasen" scheint zunächst schwer erklärlich. An Ort und Stelle setzen die Erdbeben gleich zu Anfang mit sehr heftigen Erschütterungen ein; oft, wie bei den jüngsten Katastrophen von San Franzisko und Messina, erfolgt sofort, ohne jedes Vorzeichen, der verderbliche Hauptstoß. Demgemäß liefert ein Ortsbeben (innerhalb des epizentralen Gebietes) ein ganz anderes Diagramm als ein Fernbeben, es hat den Hauptausschlag unmittelbar an erster Stelle (Abb. 321 A). Das in Bewegung versetzte Pendel vollführt dann eine Reihe allmählich abnehmender Schwingungen, bis es schließlich zur Ruhe kommt. Jeder folgende Stoß bringt die gleiche oder wenigstens eine sehr ähnliche Störungsfigur hervor.

Wo im weitern Umkreis des Epizentrums die Erschütterung noch körperlich fühlbar ist, spricht man von einem Nahbeben. Auch hier ergibt sich ein charakteristisches Diagramm. Betrachten wir zunächst die Aufzeichnungen eines Fernbebens (Abb. 321 C), so erkennen wir, daß der Hauptstörung (II 1) zwei deutlich getrennte Vorphasen (I 1 und I 2) vorausgehen. Bei einem Nahbeben ist dagegen nur eine einzige Vorstörung wahrzunehmen. (Abb. 321 B.)

Ein und dasselbe Erdbeben liefert also ganz verschiedene Diagramme, je nachdem es in größerer oder geringerer Entfernung vom Epizentrum zur Beobachtung gelangt. Woran das liegt, kann man nach dem heutigen Stande der Erdbebenforschung nicht mit völliger Gewißheit entscheiden, doch wird allgemein angenommen, daß die Bebenwellen sich auf verschiedenen Wegen durch den Erdkörper fortpflanzen und darum zu verschiedener Zeit am Beobachtungsorte eintreffen. Abb. 322, ein Durchschnitt der Erdkugel, soll diese Theorie erläutern. P ist der in gewisser Tiefe gelegene Erdbebenherd, S eine sehr weit entfernte Beobachtungsstation. Die

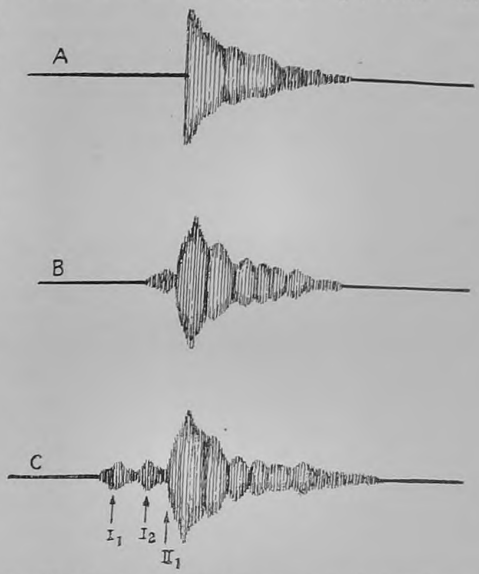


Abb. 321. Diagramm eines Ortsbebens (A), Nahbebens (B) und Fernbebens (C).

Wellen der Vorstörung kommen zuerst an, müssen also den kürzesten Weg benutzen. Dieser führt quer durch das Erdinnere, der etwas gekrümmten Linie PS entsprechend. Doch bewegt sich auf ihm offenbar nur der erste Teil der

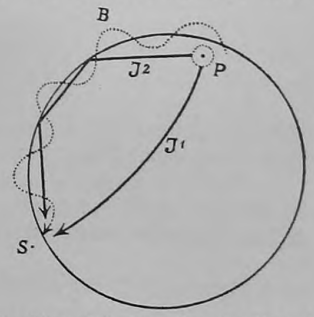


Abb. 322. Schematische Darstellung der Wege der Erdbebenwellen.

„Vorläufer". Die nähere Untersuchung lehrt, daß die beiden Vorphasen ihrem Wesen nach verschieden sind: die ersten Vorläufer sind Längswellen der Erdrinde, bei denen die Bodenteilchen sich in der Richtung der Fortpflanzung bewegen, die anderen, etwas später eintreffenden, schwin-

gen quer zu den ersten, es sind sogenannte Transversalwellen. Ihr Ursprung ist dunkel, manche Forscher nehmen an, daß sie durch Brechung der Längswellen an der Erdoberfläche entstehen und einen Weg verfolgen, der auf Abb. 322 durch die eingezeichneten Kreissehnen dargestellt ist. Was endlich die Hauptstörung betrifft, so pflanzt sie sich auf dem längsten Wege, nämlich an der Erdoberfläche selbst, fort, wie die eingezeichnete Wellenlinie PBS andeutet.

Aus der Dauer der Vorstörung läßt sich die Entfernung des Epizentrums von der Beobachtungsstation wenigstens annähernd bestimmen. Mit zunehmender Entfernung eilen nämlich die Vorläufer dem Hauptstoß immer mehr voraus. Dies kommt daher, daß ihre Geschwindigkeit in großen Tiefen sehr erheblich wächst. Um beispielsweise von Japan in gerader Linie nach dem Kap der Guten Hoffnung zu gelangen, müssen die Wellen sehr tief gelegene Erdschichten durchlaufen, also den größten Teil ihres Weges in der zähflüssigen Masse des Erdinnern zurücklegen. Hier pflanzen sie sich mit einer Schnelligkeit fort, die bis auf 13 km in der Sekunde steigt. Um längs eines Erdhalbmessers (rund 6370 km) zu passieren, brauchen sie nur etwa 19 Minuten. Viel langsamer ist die Bewegung der Oberflächenwellen, die sich durch die feste Erdrinde fortpflanzen und die Hauptstörung bewirken; sie nimmt nur langsam mit der Entfernung zu und beträgt im Durchschnitt 3—4 km in der Sekunde. Es ist daher natürlich, daß sie hinter den Wellen der Vorstörung immer weiter zurückbleiben.

Die Dauer der Vorstörung liefert also ein Maß für die Entfernung des Erdbebenherdes. Zur genauen Bestimmung ist eine mathematische Berechnung nötig; will man den Wert nur abschätzen, so genügt ein sehr einfaches Verfahren: Man drückt den Zeitunterschied zwischen dem Eintritt der Vor- und Hauptstörung in Sekunden aus und multipliziert diese Zahl mit $5^1/_2$. Sind z. B. vom Beginn des Fernbebens bis zum Hauptstoß 2000 Sekunden verflossen, so beträgt die Entfernung rund 11 000 km.

Wenn die Entfernung des Epizentrums von wenigstens drei weit auseinanderliegenden Stationen genau bestimmt werden kann, so genügt eine sehr einfache geometrische Konstruktion, um die geographische Lage des erschütterten Gebietes zu ermitteln. Wie leicht einzusehen, muß das Epizentrum auf dem Schnittpunkt der drei Kreise liegen, die mit den berechneten Entfernungen als Radien um die drei Stationen beschrieben werden. In der Praxis wird allerdings der dritte Kreis selten den Schnittpunkt der beiden anderen treffen, vielmehr in einigem Abstand vorüberziehen. Dieser Mangel an Genauigkeit läßt sich beseitigen, wenn von möglichst viel Stationen aus Kreise beschrieben werden.

Vielleicht das interessanteste Ergebnis der modernen Erdbebenkunde sind die Schlüsse, die sich aus der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen auf die Beschaffenheit des Erdinnern ziehen lassen. Liegt der Beobachtungsort in geringer Entfernung vom Herd des Bebens, so bleiben offenbar auch die „direkten" Wellen (PS auf Abb. 322) nahe unter der Erdoberfläche, werden also ebenso wie die Oberflächenwellen ganz innerhalb der festen Erdkruste verlaufen. Ihre Spuren fallen mit denen der Hauptwellen zusammen und gehen dadurch bei der Aufzeichnung der Diagramme verloren.

Bei weiterer Entfernung der Beobachtungsstation müssen die Wellen der Vorläufer in größere Tiefen eindringen, also einen Teil ihres Weges in der schmelzflüssigen Zone zurücklegen. Dies scheint jedoch die Art und Weise ihrer Fortpflanzung wenig zu beeinflussen, erst in noch weit bedeutenderer Tiefe zeigt sich eine ziemlich plötzliche Änderung der Laufkurve.

In den Diagrammen der Fernbeben sind neben unregelmäßigen, stoßartigen Bewegungen meist lange Reihen regelmäßiger Schwingungen erkennbar, die nach Wiechert von Eigenschwingungen der ganzen, auf der Magmaschicht „schwimmenden" Erdrinde herrühren. Aus der Periode dieser Schwingungen und aus ihrer Geschwindigkeit berechnet der genannte Forscher die Dicke der festen Erdrinde (bis zur Magmaschicht) auf nur 35 km, ein Wert, der allerdings von anderen Geophysikern für zu klein gehalten wird (die Messungen der Erdschwere lassen nach Helmert auf eine Dicke von 120 km schließen).

Von Wiechert stammt bekanntlich auch die Hypothese, daß unser Planet aus zwei verschiedenen Teilen bestehe: einem nahezu homogenen (d. h. gleichartigen) Metallkern und einer äußeren Felsschale („Gesteinmantel") von 1300 bis 1600 km Dicke (vgl. S. 77). Die neueren Erdbebenbeobachtungen haben diese Auffassung in glänzender Weise bestätigt. Aus dem Verlauf der „Erdbebenstrahlen" im Erdinnern ließ sich der Nachweis erbringen, daß sich die physikalische Beschaffenheit des Erdkörpers in einer Tiefe von rund 1500 km plötzlich ändert. Sowie die „Vorläufer" diese Grenze passiert haben, verlaufen sie in wesentlich anderer Richtung; war vorher ihre

Bahn gegen den Erdmittelpunkt gekrümmt, so wird sie nunmehr fast gradlinig, woraus zu schließen ist, daß der Kern — im Gegensatz zum mannigfach zusammengesetzten Felsmantel — aus einer nahezu gleichartigen Materie besteht (vermutlich aus Eisen oder Nickeleisen wie die Meteoriten).

Diese Materie muß etwa achtmal so schwer sein wie Wasser, während die Gesteine der äußeren Schale viel niedrigere spezifische Gewichte, nämlich $2^1/_2$—$3^1/_2$, besitzen (vgl. S. 77). Aus der Dichte des Erdkerns läßt sich dann ferner seine Kompressibilität (Zusammendrückbarkeit) berechnen, die etwa fünfmal kleiner ist als die von Stahl bei gewöhnlichem Druck; ebenso ist die Starrheit des Kerns etwa $4^3/_4$ mal größer als die des Stahls. Diese auffälligen Zahlenwerte erklären sich wahrscheinlich durch den ungeheuren, im Erdinnern herrschenden Druck.

Das exakte Studium der verschiedenen, bei Fernbeben auftretenden Erdschwingungen wird gewiß im Lauf der nächsten Jahrzehnte noch reiche Aufschlüsse über die physikalische Natur und den Bau unseres Weltkörpers liefern.

Der den einzelnen Versteinerungsnamen beigefügte * verweist auf die betr. Tafel des I. Bandes.

Quartärzeit.

Zeit des Menschen. Kälteperiode. Abnahme des Vulkanismus. Stillstand der Gebirgsfaltung.

II. Alluvium oder Gegenwart.

Zeit des Homo sapiens. Klima etwas wärmer als im Diluvium. Die großen Säugetiere im Aussterben.

B. Metallzeit. Gegenwart. Zuerst Bronze-, dann Eisengeräte.

A. Jüngere Steinzeit. Geschliffene Steingeräte.

I. Diluvium oder Eiszeit.

Zeit des Homo primigenius (Urmensch, Abb. 6). Kälteperiode, unterbrochen von wärmeren Zwischeneiszeiten. Ungeschliffene Steingeräte.

Norddeutschland. **Alpengebiet.**

C. Jüngeres Diluvium oder Madeleine-Stufe.

Renntierzeit. Schwinden der großen Gletscher. Homo sapiens. Höhlenzeichnungen.

3. **Litorina-Zeit.** Die Ostsee verbindet sich wieder mit dem Kattegat. Brackwasserfauna (Litorina litorea, Tapes decussata u. a.). Zeit der Eiche.

2. **Ancylus-Zeit.** Die Ostsee ein Binnensee. Süßwasserfauna (Ancylus lacustris). Birken-, Kiefer- und Espenwälder.

1. **Dryas-** oder **Yoldia-Zeit.** Die Ostsee mit dem Eismeer verbunden. Arktische Fauna oder Flora (Yoldia arctica, Dryas octopetala Abb. 5, Salix polaris).

Nacheiszeit mit mehreren kleinen Klimaschwankungen und geringen Vorstößen der abschmelzenden Gletscher.

Schieferkohle von Utznach mit Bos primigenius, Cervus elaphus, Larix europaea, Fagus silvatica, Pinus usw.

B. Mittleres Diluvium oder Soluté-Stufe.

Mammutzeit. Elephas primigenius, Rhinoceros antiquitatis, Höhlenraubtiere, Pferd. Homo primigenius. Erste Knochenwerkzeuge.

3. **Dritte Eiszeit.** Bildung des oberen Geschiebemergels, später der großen Endmoränenzüge und Talsandheiden.

2. **Jüngere Zwischeneiszeit.**

Sande von Rixdorf bei Berlin mit Resten von Elephas primigenius (Abb. 4), Rhinoceros antiquitatis, Rangifer groenlandicus, Cervus elaphus und euryceros, Bos primigenius, Bison priscus, Equus caballus, Ovibos, Ursus usw.

Torflager von Lauenburg mit Brasenia purpurea.

Kalktuffe von Taubach bei Weimar, oben mit Elephas primigenius und Rhinoceros antiquitatis, unten mit Elephas antiquus und Rhinoceros Mercki. Ferner mit Pflanzenresten (Juglans, Ilex aquifolium, Quercus sessiliflora u. a.).

1. **Zweite** (größte) **Eiszeit.** Bildung des älteren, unteren Geschiebemergels.

3. **Würm-Vereisung.** Bildung der „inneren Moränen" (z. B. Amphitheater von Ivrea) und des Niederterrassenschotters.

2. **Jüngste Zwischeneiszeit.** Hierher vielleicht die **Höttinger Breccie** (bei Innsbruck) mit Rhododendron ponticum, Buxus sempervirens und Arbutus.

1. **Riß-Vereisung.** Größte Ausdehnung der Alpengletscher. Bildung der „äußeren Moränen" und des Hochterrassenschotters.

A. Älteres Diluvium oder Chelles-Stufe.

Zeit des Elephas antiquus. Homo primigenius und Rhinoceros Mercki. Ganz rohe Steingeräte.

2. **Ältere Zwischeneiszeit.** In der Mark Brandenburg Schicht mit **Paludina diluviana** („Paludinenbank"). Yoldien- und Cyprinenton bei Elbing.

Torflager von Klinge bei Kottbus mit vielen noch heute dort lebenden Pflanzen, aber auch mit Ilex aquifolium, Taxus baccata und Brasenia purpurea.

Flußschotter von Süßenborn bei Weimar mit Elephas meridionalis und Trogontherii, Rhinoceros etruscus, zahlreichen Hirschen usw.

1. **Erste Eiszeit.** Bildung der ältesten Grundmoränen (bislang nur an wenigen Punkten beobachtet).

4. **Mittlere Zwischeneiszeit.** Hierher vielleicht die **Schieferkohlen von Dürnten** mit Elephas antiquus und Rhinoceros Mercki.

3. **Mindel-Vereisung.** Bildung des jüngeren Deckenschotters.

2. **Älteste Zwischeneiszeit.**

1. **Günz-Vereisung.** Bildung des älteren Deckenschotters.

Tertiärzeit.

Zeitalter der Säugetiere und Laubhölzer. Allmähliche Wärmeabnahme, zu Beginn tropisches Klima in Mitteleuropa, gemäßigtes in den Nordpolargegenden, dann zunehmende Abkühlung. Starke vulkanische Tätigkeit und Entstehung der heutigen Kettengebirge.

V. Pliozän.

Norddeutschland:	Mainzer Becken:	Alpengebiet:	Wiener Becken:
	B. Ober- und Mittelpliozän.		
Mastodontenschotter in Hessen und Thüringen mit Mastodonten und Equus Stenonis.	**Braunkohlen** des Untermaintals und der Wetterau mit europäischen und nordamerikanischen Pflanzenformen.		**Levantinische Stufe. Belvedereschotter** mit Resten von Dinotherium, Mastodon, Rhinoceros, Hipparion.
	A. Unterpliozän.		
Kieseloolithschotter des Rhein- und Moseltals mit Resten von Ahorn- und Lorbeerbäumen, Kastanien, Pappeln, Buchen.	**Eppelsheimer Knochensand** mit Dinotherium giganteum, Mastodon longirostris, Aceratherium incisivum, Hipparion gracile (Abb. 17), zahlreichen Hirschen usw.		**Pontische Stufe** oder **Kongerienstufe** (brackig) mit vielen sehr großen Dreikantmuscheln oder Kongerien*, zahnlosen Herzmuscheln und vielen Arten von Melania und Melanopsis.

IV. Miozän.

	C. Obermiozän.		
Glimmerton mit Arca diluvii*, Pectunculus pilosus, Astarte concentrica, Venus Brocchii, Conus antediluvianus, Dentalium elephantinum usw.		**Obere Süßwassermolasse** mit Helix silvana und Melania Escheri. **Dinotheriensande** oder **Flinz** mit Öninger Flora. **Plattenkalke** von **Öningen** mit zahlreichen Pflanzen (am häufigsten Acer trilobatum, Populus mutabilis und Juglans acuminata) und Tieren (z. B. Leuciscus, Andrias Scheuchzeri, vor allem aber südeuropäischen Käfern und andern Insekten).	**Sarmatische Stufe** (brackig) mit Cerithium pictum, Mactra podolica, Tapes gregaria*, Seehunden, Delphinen und Walen. (Korallen, Zephalopoden, Brachiopoden, Echinodermen, Haifische fehlen hier vollständig.)
	B. Mittelmiozän.		
Jüngere Braunkohlen und **Basalte** im Habichtswald, in der Röhn, im Vogelsberg und Westerwald.	**Litorinellenkalk** mit massenhaften Hydrobien (Litorinellen),* Dreikantmuscheln und Cypris.	**Obere Meeresmolasse** mit Ostrea crassissima*, Pecten solarium, Pectunculus pilosus, Turritella cathedralis, Panopaea Menardi usw.	II. Mediterranstufe 3. **Grunder Schichten** mit Turritella cathedralis, Murex aquitanicus, Ostrea crassissima* usw. 2. **Lithothamnienkalk,** ein an Kalkalgen und Korallen reicher Kalk des Leithagebirges. Fossilien: Pectunculus pilosus, Conus antediluvianus, Amphistegina Haueri*, Turritella turris usw. 1. **Badener Tegel,** blauer plastischer Ton mit vielen Fusus, Pleurotomen, Murex, Mitra*, Flabellum* usw.
	A. Untermiozän.		
Braunkohlen der Mark Brandenburg, von Pommern, Posen, Mecklenburg, ältere Braunkohlen Hessens, z. B. am Meißner. **Melanienton** mit Melania horrida und Limnaeus pachygaster.	**Corbiculaschichten** mit Corbicula Fauyasi, Hydrobia inflata und acuta*, Cerithium plicatum usw.	**Obere Meeresmolasse** (vgl. oben).	I. Mediterranstufe. Verschieden benannte Schichten mit Cerithium margaritaceum* und plicatum, Pecten solarium, Ostrea crassissima*, Aturia Aturi usw.

Norddeutschland.	Mainzer Becken.	Alpengebiet.	Frankreich.	England.
		III. Oligozän.		
		C. Oberoligozän.		
Sternberger Kuchen (Mecklenburg). **Sande des Dobergs** bei Bünde und der Gegend von Kassel mit Echinolampas Kleini*, Spatangus Hofmanni, Pectunculus obovatus, Terebratula grandis*, Cyprina rotunda usw.	**Zerithienschichten** mit Cerithium plicatum, Perna Soldani. **Blättersandstein** der **Wetterau** mit Resten von Palmen, Zimt- und Lorbeerbäumen, immergrünen Eichen, Ulmen usw.	**Blättermolasse** mit Resten von Zimtbäumen, immergrünen Eichen, Juglans, Rhamnus, Fächer- und Fiederpalmen usw. **Braunkohlen** in Oberbayern (Miesbach). **Untere Brackwassermolasse** mit Cyrena semistriata, Cytherea incrassata, Cerithium margaritaceum*. **Untere Meeresmolasse** mit Ostrea callifera, Cyprina rotundata, Tritonium flandricum, Pleurotoma Selysii. **Flysch.**	**Mühlstein** von **Montmorency** u. **Kalk** der Beauce mit vielen Limnaeus, Planorbis, Paludina, Helix, ferner mit Resten von Anthracotherium und Aceratherium.	
		B. Mitteloligozän.		
Septarienton mit Leda Deshayesiana*, Cyprina rotundata, Pleurotoma Selysii, Fusus Konincki, Dentalium Kikxii, Aporrhais speciosa usw. **Stettiner Sand.**	3. **Cyrenenmergel** mit Cyrena semistriata, Cerithium plicatum und margaritaceum*, Perna Sandbergeri, ferner mit Resten von Anthracotherium u. Hippopotamus. 2. **Septarienton** mit Leda Deshayesiana*, vielen Foraminiferen und Fischen (Meletta*, Amphisyle) 1. **Meeressand von Alzey** mit Ostrea callifera, Pectunculus obovatus, Cytherea incrassata, Halitherium Schinzi usw.	**Fischschiefer von Glarus** mit Meletta* und Amphisyle. **Flysch.**	Sande von **Fontainebleau** mit Pectunculus obovatus, Cerithium plicatum, Halitherium. **Austernmergel** mit Ostrea cyathula usw.	**Hempstead-Schichten** oben (marin) mit Ostrea callifera und cyathula, Cerithium plicatum u. a. unten (brackig) mit Cyrena semistriata.
		A. Unteroligozän.		
Tone von Egeln (bei Magdeburg und **Latdorf** bei Bernburg) mit Ostrea ventilabrum*, Triton flandricus, Fusus elongatus, Pecten bellicostatus, Spondylus Buchi und zahlreichen Einzelkorallen. **Bernsteinführende Glaukonitsande** des Samlandes mit Ostrea ventilabrum* usw. **Braunkohlen** von Halle a. d. Saale.		**Taveyannazsandstein, Flysch und Nummulitenkalke.**	4. **Süßwasserkalk** der **Brie.** 3. **Cyrenenmergel** m. Cyrena convexa. 2. **Mergel** mit Limnaeus strigosus. 1. **Mergel** und **Gipse des Montmartre** mit Palaeotherium (Abb. 10), Anoplotherium, Xiphodon, Zwerghirschen, Halbaffen usw.	**Brackige Kalke** und **Mergel** mit Cytherea incrassata, Limnaeus, Planorbis, Paludina, Melania usw.

II. Eozän.

Norddeutschland.	Mainzer Becken.	Alpengebiet.	Frankreich.	England.
Eozäne Schichten mit Versteinerungen des Londontons und anderer Stufen im Küstengebiet der Nord- und Ostsee.		**Nummulitenschichten** der **Schweiz** und **Oberbayerns. Eisenoolithe** des **Kressenberges** bei **Traunstein** mit zahlreichen Nummuliten, z. B. Orbitoides (Abb. 9), Conoclypeus conoideus, Cerithium giganteum, Ostrea flabellata, Crassatella plumbea, Aturia zickzack*. **Flysch** der **Schweizer Alpen.**	3. **Sande von Beauchamp** mit Ostrea multistriata, Dentalium grande und kleinen Nummuliten (z. B. Nummulites varius). 2. **Pariser Grobkalk** mit Nummulites laevigatus, Cerithium giganteum und hexagonum*, Fusus bulbiformis*, Cardita planicosta, Conus Parisiensis*, Cardium porulosum, Corbis lamellosa, Thyphis tubifer* usw. 1. **Untere Meeressande**, sehr fossilreich, auch mit Nummuliten.	3. **Bartonton** mit Nummulites varius, Voluta athleta, Resten von Palmen, Lorbeer- und Feigenbäumen. 2. **Bagshot-Schichten** mit Resten von Araukarien, Eukalypten, Platanen, Sequoia, Pappeln, Ulmen. **Bracklesham-Schichten** mit mariner Fauna (Cerithium giganteum), Conus deperditus, Cardita planicosta, Nummulites laevigatus usw. 1. **Londonton** mit Aturia zickzack*, Rostellaria macroptera*, Voluta nodosa usw. Außerdem Reste von tropischen Pflanzen, Schildkröten, Vögeln und Säugetieren.

I. Paleozän.

Paleozäne Schichten bei **Lichterfelde, Lüneburg, Heide** (Holstein) usw.			3. **Plastische Tone** und **Braunkohlen** mit Melania inquinata* und Cyrena cuneiformis*. 2. **Sande von Bracheux** mit Ostrea bellovacina, Cardita pectuncularis, Voluta depressa usw. **Konglomerat** von **Cernay** (bei Reims) mit primitiver Säugetierfauna. 1. **Mergel von Meudon.**	3. **Woolwich u. Reading beds** mit Melania inquinata* und Cyrena cuneiformis*. 2. **Thanetsande** mit Ostrea bellovacina, Fusus tuberosus, Pholadomyea, Scalaria Bowerbanki usw.

Kreide.

Zeitalter der Rudisten, der ammonitischen „Nebenformen“ und der großen auf dem Lande lebenden Dinosaurier (z. B. Iguanodon Abb. 22). Viele Belemniten und Inozeramen. Die ersten Laubhölzer. Scharfer Gegensatz zwischen nördlicher und südlicher Entwicklung: im Norden massenhafte Belemniten und Inozeramen, im Süden: Rudisten*, Caprina, Requienia*, zahlreiche Riffkorallen, eigenartige Ammoniten (Lytoceras, Phylloceras) und Schnecken (Actaeonella*, Nerinea*). Gegen Schluß der Kreide sterben Rudisten, Ammoniten und Belemniten aus.

II. Obere Kreide.

Nordwestdeutschland. Sachsen.

F. Dänische Stufe

(nur in Dänemark und Schonen).

Keine Ammoniten und Belemniten mehr.

3. Kalk mit Crania tuberculata.

2. Saltholmskalk mit Nautilus danicus, Baculites Faujasi.

1. Bryozoenkalk mit vielen Bryozoen und Korallen, Nautilus danicus.

E. Obersenon (Mukronatenkreide).

Hauptleitfossil: Belemnitella mucronata*, ferner Coeloptychium agaricoides*, Cyphosoma Koenigii*, Trigonosema pulchellum, Inoceramus Cripsi*, Gryphaea vesicularis, Ananchytes ovata und die letzten Ammoniten (Heteroceras polyplocum, Scaphites*, Pachydiscus, Baculites anceps).

D. Untersenon (Quadratenkreide).

Hauptleitfossil: Actinocamax quadratus, ferner Becksia Soekelandi*, Marsupites ornatus, Micraster coranguinum*, Ananchytes ovata, Gryphaea vesicularis, Vola quinquecostata, Trigonia aliformis, Scaphites binodosus und riesige Pachydiscus-Arten.

C. Emscher Mergel.

Schichten mit Ammonites Margae und Ewaldi, Actinocamax westfalicus und Inoceramus digitatus. Überquader.

B. Turon oder oberer Pläner.

5. Cuvieripläner.

Schichten mit Inoceramus Cuvieri.

4. Skaphitenpläner.

Schichten mit Scaphites Geinitzi, Spondylus spinosus*, Neoptychites peramplus, Terebratula semiglobosa. Oberquader der Sächsischen Schweiz.

3a. Brongniartipläner.

Schichten mit Inoceramus Brongniarti. Quader von Tetschen und Elbleiten.

3b. Galeritenpläner.

Schichten mit Galerites (Echinoconus) albogalerus*, Holaster planus, Terebratula Becksi.

2. Labiatuspläner.

Schichten mit Inoceramus labiatus. Mittelquader und zugehöriger Pläner.

1. Zone des Actinocamax plenus.

Glaukonitmergel mit Actinocamax plenus. Carinatenpläner und Plänersandstein.

Nordwestdeutschland.	Sachsen.
A. Cenoman oder unterer Pläner.	
3. Mergel mit Acanthoceras rotomagense. 2. Mergel mit Schloenbachia varians. 1. **Essener Grünsand** (Tourtia) mit Pecten asper*, Catopygus carinatus, Ostrea diluviana usw.	2. Unterquader mit Ostrea carinata und diluviana, Exogyra columba* usw. 1. Sandsteine und Schiefertone mit vielen Pflanzenresten, namentlich Credneria.

I. Untere Kreide.

Norddeutschland.	Alpen.
F. Gault oder Albien.	
3. **Flammenmergel** mit Schloenbachia inflata, Aucella gryphaeoides, Desmoceras Mayorianum, Turrilites*. 2. Minimuston mit Belemnites minimus und Hamites rotundus. 1. Tone mit Acanthoceras Milletianum.	Schichten mit Schloenbachia inflata usw.
E. Apt-Stufe.	
Schichten mit Acanthoceras Marini, Belemnites Brunvicensis und Ewaldi.	Kalke mit großen Anzyklozeren. Wernsdorfer Schichten der Karpathen.
D. Barrême-Stufe.	
Schichten mit Ancyloceras trispinosum und Matheronianum*, Crioceras elegans und Emerici, Belemnites jaculum und brunsvicensis.	**Schrattenkalk** mit Requienia ammonia*, Orbitolinen, Rudisten usw. In den Dauphinéer Alpen Schichten mit Crioceras Emerici und Macroscaphites Ivani*.
C. Hauterive-Stufe.	
Schichten mit Simbirskites Phillipsi, Hoplites noricus*, Olcostephanus Astierianus, Crioceras capricornu, Belemnites pistilliformis, Thetis minor, Panopaea neocomiensis und zahlreichen Seeigeln, z. B. Toxaster complanatus*.	**Spatangenkalk** der Schweiz mit vielen Seeigeln (Tox, aster complanatus* u. a.) Olcostephanus astierianus-Crioceras Duvali, Belemnites pistilliformis. In den Ostalpen die Roßfelder Schichten mit Aptychus Didayi,
B. Valangin-Stufe.	
Schichten mit Oxynoticeras Gevrili, Belemnites pistilliformis, Avicula macroptera, Rhynchonella depressa.	Im Schweizer Jura (namentlich bei Neuchâtel) Schichten mit den gleichen Versteinerungen.
A. Berrias-Stufe und Wealden.	
Wealden oder **Wälderton:** **Deistersandstein** mit Resten von Iguanodon, Krokodilen, Schildkröten und Sauropterygiern. Darin eingelagert: Schiefertone und **Kohlenflöze** mit Zykadeen, Koniferen und Farnen (Flora jurassischen Charakters). Tone mit Cypridea valdensis*, Cyrena Bronni, Paludina fluviorum, Melania strombiformis.	Schichten mit Hoplites Boissieri, Phylloceras ptychoicum u. a.

Jura.

Blütezeit der Ammoniten, Belemniten und Reptilien. Sehr viel riffbauende Korallen und Schwämme. Große Meeressaurier (Ichthyosaurus Abb. 34, Plesiosaurus Abb. 35), Flugsaurier (Pterodactylus), Dinosaurier, erste Knochenfische, erste Vögel (Archaeopteryx Abb. 38). Flora: Farne, Koniferen, Zykadeen.

III. Weißer Jura oder Malm.

Sehr viele Korallen- und Schwammkalke, meist von heller Farbe.

Nordwestdeutschland.	Süddeutschland.	Ostalpen, Karpathen.
	D. Tithon.	
3. **Purbeckkalk** mit Süßwasserschnecken. 2. **Serpulit** mit Serpula coacervata. 1. **Mündener Mergel.**		**Stramberger Kalk** mit Ammonites transitorius.
	C. Portland.	
	Weißjura ζ.	
2. **Eimbeckhäuser Plattenkalke** mit Corbula inflexa und alata. 1. Schichten mit Olcostephanus gigas und portlandicus.	**Lithographische Schiefer** von **Solnhofen** und **Nusplingen** mit Archaeopteryx, Pterodactylus, Rhamphorhynchus und Compsognathus, ferner mit zahlreichen Fischen, Krebsen, Insekten, Medusen usw. **Korallenkalke** von **Kehlheim** mit Isastraea, Stylina, Cidaris coronata*, Diceras* usw.	Diphyakalk mit Terebratula diphya und Oppelia lithographica.
	B. Kimmeridge.	
3. Schichten mit Exogyra virgula*. 2. Schichten mit Pteroceras Oceani*. 1. Schichten mit Nerinea tuberculosa und Terebratula humeralis.	Schwammkalke, plumpe Felsenkalke, Muschelmarmore usw. (Weißjura γ, δ, ε).	Schichten mit Aspidoceras acanthicum.
	A. Oxford.	
2. **Korallenoolith** mit Nerinea Visurgis und Ostrea rastellaris. 1. **Hersumer Schichten** mit Aspidoceras perarmatum*.	3. Schichten mit Peltoceras bimammatum (Weißjura β). 2. Mergel mit Terebratula impressa. 1. Schichten mit Peltoceras transversarium (2 und 1 = Weißjura α).	Schichten mit Peltoceras transversarium.

II. Dogger oder brauner Jura.

Viele Kalkoolithe.

Nordwestdeutschland.	Schwaben.	Alpen.
Kelloway.		
Ornatenton mit Ammonites ornatus, Lamberti, Jason u. a. Makrozephalenschichten mit Sphaeroceras macrocephalum. Eisenkalkbänke, sog. Cornbrash, mit Pseudomonotis echinata. Schichten mit Ostrea Knorri. Schichten mit Ammonites Parkinsoni*.	**Braunjura ζ** mit zahlreichen verkiesten Ammoniten, z. B. Cosmoceras ornatum. **Braunjura ε.** Zone mit Sphaeroceras macrocephalum. Schichten mit Rhynchonella varians. Dentalienton. Zone der Parkinsonia Parkinsoni*.	Vilser Kalke (bei Füssen) mit vielen Brachiopoden. Klausschichten (braunrot, eisenhaltig). Posidonienschichten.

Nordwestdeutschland.	Schwaben.	Alpen.
	Braunjura δ.	
Koronatenschichten.	Koronatenschichten mit Stephanoceras Humphriesianum* und Blagdeni.	
	Austernkalke mit Ostrea Marshi* usw.	
	Tone mit Belemnites giganteus*.	
	Braunjura γ.	
Schichten mit Inoceramus polyplocus.	Blaue Kalke, z. T. mit Sonninia Sowerbyi.	
	Braunjura β	
	Sandsteine und Roteisenoolithe mit Harpoceras Murchisonae und Pecten personatus*.	Oolithische Kalke am Gardasee.
	Braunjura α.	
Schichten mit Harpoceras opalinum*.	Tone mit Harpoceras opalinum*.	
	I. Lias.	
	3. Oberer Lias.	
	Lias ζ.	
Mergel mit Lytoceras jurense.	Mergel mit Lytoceras jurense.	
	Lias ε.	
Posidonienschiefer.	Posidonienschiefer mit Posidonia Bronni*.	
Dörntener Schiefe mit vielen Harpoceras.	Zu oberst: Bank mit Harpoceras bifrons*.	
	2. Mittlerer Lias.	
	Lias δ.	
Amaltheenschichten.	Amaltheentone mit Amaltheus margaritatus und spinatus, Belemnites paxillosus* usw.	Adneter Schichten (rote ammonitenreiche Marmorkalke).
	Lias γ.	
Mergel und Kalke mit Ammonites capricornu.	Numismalis-Mergel mit Terebratula numismalis*.	Hierlatzkalke mit Brachiopoden und Seelilien.
		Fleckenmergel, Algäuschiefer mit vielen Ammoniten.
	1. Unterer Lias.	Grestener Schichten mit Steinkohlen und Landpflanzen.
	Lias β.	
Schichten des Aegoceras brevispina (oolithische Eisensteine).	Tone und Kalke mit Arietites Turneri, Oxynoticeras oxynotum und Ophioceras raricostatum.	
Schichten mit Ammonites planicosta.		
	Lias α.	
Tone mit Arietites Bucklandi.	Kalke mit Gryphaea arcuata*, Arietites Bucklandi*, Lima gigantea* usw.	
Schiefertone mit Schlotheimia angulata.	Sandsteine mit Schlotheimia angulata.	
Schiefertone mit Psiloceras planorbis.	Kalke mit Psiloceras planorbis.	

Trias.

Zeitalter der Labyrinthzähner und Theromorphen (Pareiosaurus Abb. 45, Placodus). Erste echte Ammoniten (Zeratiten), Älteste Säugetiere (Beuteltiere). Meeressaurier (Nothosaurus*). Riesige Schachtelhalme, Zykadeen und Nadelhölzer. In Deutschland Kampf zwischen Wüste und Meer, der mit dem Siege des Meeres endigt.

Deutsche Trias.	Alpine Trias.

III. Keuper.

3. Rät.

Sandsteine und Schiefertone mit Avicula contorta*.

Schwäbisches Bonebed.

2. Gips- oder Hauptkeuper.

Gipsfreier Steinmergel.

In Franken der **Burg-** oder **Baunsandstein** mit Semionotus Bergeri.

In Schwaben der **Stubensandstein** mit Aetosaurus ferratus und Belodon Kapffi.

Gipsführende Lehrbergschichten.

Schilfsandstein mit Equisetum arenaceum und Pterophyllum Jaegeri*.

Bänke mit Corbula Rosthorni,

Gipsführende Mergel und Letten.

1. Kohlenkeuper (Lettenkohle).

Grenzdolomit mit Myophoria Goldfussi, Tone. Sandsteine, **Lettenkohle**, unreine Kalke mit Estheria minuta und Lingula tenuissima.

3. Rätische Stufe.

Kössener Schichten mit Avicula contorta*, Terebratula gregaria*, Gervillia inflata* und Korallen.

Zlambach-Schichten mit zahlreichen Korallen.

2. Norische Stufe.

Hauptdolomit und **Dachsteinkalk** mit Megalodon triqueter* und Turbo solitarius.

Asphaltschiefer von Seefeld mit zahlreichen Fischabdrücken, z. B. Semionotus.

Hallstätter Kalk mit Pinacoceras Metternichi* und vielen anderen Ammoniten* und Monotis salinaria*.

1. Karnische Stufe.

In **Kärnten: Raibler Schichten** mit Tropites subbulatus*, Myophoria Kefersteini* usw., Fischschiefer.

In **Bayern: Cardita-Schichten** mit Halobia rugosa, Cardita Gümbeli usw.

In **Südtirol: Heiligkreuz-** oder **Torer-Schichten** mit Ostrea montis caprilis, Gonodon Mellingi.

Rote **Schlernplateau-Schichten** mit Myophoria Kefersteini*, Pachycardia Haueri.

In **Niederösterreich: Lunzer Sandstein** mit Kohlen, Reingrabener Schiefer mit Halobia rugosa und Keuperflora.

Aon-Schiefer mit Trachyceras aonoides.

II. Muschelkalk.

3. Oberer Muschelkalk.

(Friedrichshaller Kalk, Hauptmuschelkalk).

Semipartitus-Schichten mit Ceratites semipartitus.

Obere Nodosen-Schichten mit Ceratites nodosus*. Bank mit Terebratula cycloides.

Untere Nodosen-Schichten mit Ceratites compressus.

Trochitenkalk mit Stielgliedern, seltener ganzen Kronen von Encrinus liliiformis*.

Bänke mit Myophoria vulgaris*, Gervillia costata und socialis*.

2. Mittlerer Muschelkalk.

(Anhydritgruppe).

Dolomit mit Mergel und Gips, Anhydrit und Steinsalz. Versteinerungen sehr spärlich.

1. Unterer Muschelkalk.

(Wellenkalk).

Kalkschichten mit Myophoria orbicularis.

2. Ladinische Stufe.

Wettersteinkalk, Arlbergkalk, Schlerndolomit, Esinokalk, Ramsaudolomit, Partnachschichten.

Reiflinger Kalke mit Daonella Lommeli* und Koninckina Leonhardi.

Südtirol:

c) **Schichten von St. Cassian** mit Trachyceras Aon*, Megaphyllites Jarbas, Koninckina Leonhardi, Cidaris dorsata.

b) **Wengener Schichten** mit Daonella Lommeli*.

c) **Buchensteiner Schichten** mit Protrachyceras Reitzi.

1. Anisische Stufe.

Mendola-Dolomit. Reiflinger Kalke.

c) Reichenhaller und Guttensteiner Kalk.

Deutsche Trias.

Oberer Wellenkalk und **Schaumkalk** mit Myophoria vulgaris*, Gervillia costata, Spiriferina fragilis, Pecten discites, Lima striata usw.

Unterer Wellenkalk (ohne Schaumkalk) mit Terebratula vulgaris* und socialis, Beneckeia Buchi, Lima lineata und striata, Dentalium torquatum, Gervillia socialis* usw.

Wellendolomit.

Alpine Trias.

b) Recoaro-Kalk mit deutschen Muschelkalkversteinerungen.

a) Schichten mit Ceratites trinodosus*.

I. Buntsandstein.

3. **Oberer Buntsandstein (Röt).**

In Mitteldeutschland bunte gipsführende Letten und Mergel mit Rhizocorallium jenense, Myophoria costata*.

In Lothringen und dem Saargebiet Voltziensandstein mit Volzia heterophylla. Darunter: Zwischenschichten mit Karneolbank.

2. **Mittlerer** oder **Hauptbuntsandstein.**

Grobkörnige Quarzsandsteine (sehr versteinerungsarm).

Fährtensandstein.

Vogesensandstein.

1. **Unterer Buntsandstein.**

Feinkörnige tonige Sandsteine, sehr versteinerungsarm, mit Wellenfurchen und Regentropfeneindrücken.

Rogenstein (oolithischer Kalksandstein).

Tigersandstein (Schwaben).

Skythische Stufe oder **Werfener Schichten.**

2. **Campiler Schichten** (grau, sandig) mit Tirolites cassianus, Natica costata, Myophoria costata* usw.

Haselgebirge (Salz- und Gipslager, Salztone, Rauhwacken des Salzkammerguts).

1. **Seiser Schichten** (rot, tonig) mit Pseudomonotis Clarai*.

Perm oder Dyas.

Herrschende Tierklassen: Ganoidfische mit unsymmetrischer Schwanzflosse, Stegozephalen (Branchiosaurus Abb. 51, Archegosaurus). Erste Reptilien. Viele Brachiopoden (namentlich Productus und Spirifer). Die Sigillarien und Lepidodendren sterben aus. Große Ausbreitung der Tethys vom Mittelamerika über Südeuropa und Südasien bis zu den Sundainseln. In Deutschland anfangs feuchtwarmes, später trockenes (Wüsten-) Klima. In Indien, Südafrika, Australien, Brasilien Eiszeit. Ausklingen der karbonischen Gebirgsfaltung. Starke vulkanische Tätigkeit.

Deutsche Land- und Binnenmeerablagerungen.

Ozeanische Ablagerungen. (Gebiet der Tethys.)

II. Zechstein.

3. **Oberer Zechstein.**

Letten mit Gips und Dolomit.

Großartige Steinsalz- und Kalisalzlager.

2. **Mittlerer. Zechstein.**

Stinkschiefer.
Hauptdolomit.
Gips, Steinsalz, Dolomitasche, Rauhwacke.

1. **Unterer Zechstein.**

Zechsteinkalk mit Productus horridus*, Spirifer alatus*, Schizodus obscurus*, Fenestella retiformis* usw.

Kupferschiefer mit Ganoidfischen (z. B. Palaeoniscus Freieslebeni) und Pflanzenresten (Ullmannia Bronni).

Zechsteinkonglomerat und Weißliegendes.

Productuskalk der **Salt-Range** (Indien) mit zahlreichen Brachiopoden (besonders Productus und Verwandte, ferner die eigentümliche Richthofenia*), Bellerophon-Schnecken und merkwürdigen Ammoniten (Popanoceras*, Cyclolobus* usw.)

Sosiokalke auf **Sizilien** mit Fusulinen, Medlicottia*, Popanoceras*, Cyclolobus*, Bellerophon, Richthofenia* usw.

Deutsche Land- und Binnenmeerablagerungen.

I. Rotliegendes.

2. **Oberrotliegendes.**

Rote Sandsteine und Schiefertone.
Porphyr- und Melaphyrkonglomerate.

1. **Unterrotliegendes.**

Sandsteine, Schiefer mit Brachiopoden, Archegosaurus, Walchia, Calamites gigas usw.
Eingelagert: Porphyre und Porphyrite.
Zu unterst: Sandsteine, Schiefer mit Kohlenflözen und massenhaften Anthrakosien.

In den **Alpen:** Grödener Sandstein, Verrucano, Bozener Quarzporphyr, Porphyr von Lugano.

Ozeanische Ablagerungen. (Gebiet der Tethys).

Bellerophonkalk der **Ostalpen, Trogkofelkalk** der **karnischen Alpen** und **Karawanken.**

Artinsk-Stufe im **Ural.**

Sandig-mergelige Schichten mit Medlicottia*, Popanoceras*, Calamites gigas, Walchia usw.

Permkalke in **Kansas, Nebraska** und **Texas** mit permischen Brachiopoden, Ammoneen, Theriodonten und Stegozephalen.

Karbon.

Blütezeit der Kryptogamen (Calamiten, Farne, Sigillarien, Lepidodendren), der Seelilien und Knospenstrahler. Viele Brachiopoden (namentlich Productus) und Fusulinen. Erste Stegozephalen. Ausbreitung der Spinnen und Insekten. Die Trilobiten sterben aus. Feuchtwarmes, fast auf der ganzen Erde gleichmäßiges Klima. Seit Mitte der Karbonzeit Gebirgsfaltung in West- und Mitteleuropa, im mittleren und südlichen Asien usw.

II. Oberkarbon.

In West- und Mitteleuropa.

Produktives d. h. **steinkohlenführendes Karbon.**

3. **Ottweiler Schichten** (Farnstufe)

mit zahlreichen Pekopteriden, z. B. Pecopteris plumosa*, ferner mit Sphenophyllum*, Annularia stellata*, Kordaiten* usw. und Anthrakosien*.

2. **Saarbrücker** und **Schatzlarer Schichten** (Sigillarienstufe)

mit zahlreichen Sphenopteriden, z. B. Sphenopteris obtusiloba*, auch reich an Sigillarien und Lepidodendren. Ferner Asterophyllites*, Annularia, Neuropteris*, Calamiten, Cordaiten* und Insekten*.

1. **Waldenburger Schichten** (Sagenarienstufe)

mit Sigillaria squamata, Lepidodendron Veltheimianum und Volkmannianum, Asterocalamites scrobiculatus* usw.

In Rußland.

Marine Fusulinenkalke.

3. **Schwagerinenstufe** (direkt unter der Artinsk-Stufe)

mit dicken, kugeligen Schwagerinen* und echten Fusulinen*, Spirifer Nikitini.

Darunter: Schichten mit Productus cora und großen Fusulinen.

2. **Gshelstufe:**

Schichten mit Omphalostrochus Whitneyi, Spirifer supramosquensis und einer Menge Korallen.

1. **Moskauer Stufe:**

Kalke, Dolomite und Mergel mit Spirifer mosquensis*, Fusulina cylindrica* usw.

I. Unterkarbon.

West- und Mitteleuropa.

Kalkige Fazies (Kohlenkalk).

3. **Stufe von Visé** mit Productus giganteus und Chonetes papilionacea.

2. **Stufe von Tournai** mit Spirifer tornacensis.

1. **Stufe von Etroeungt** mit Phillipsia*, Spirifer Verneuili*, Prolecanites und einigen **devonischen** Formen (Phacops usw.).

Schieferige u. sandige Fazies (Kulm).

3. **Kulmgrauwacke** mit Asterocalamites scrobiculatus*, Lepidodendron Veltheimianum, Knorria imbricata. Plattenkalke mit Fossilien der Visé-Stufe.

2. **Posidonienschiefer** mit Posidonia Becheri*, Glyphioceras sphaericum, Orthoceras scalare, Phillipsia*, Asterocalamites*.

1. Kalke mit vielen Goniatiten und Seelilien, Kieselschiefer mit Radiolarien.

Rußland.

Kohlenkalk mit Productus giganteus und latissimus, Chonetes papilionacea, Spirifer striatus*, Phillipsia globiceps.

Kohlenführende Schichten, Sandsteine und Tone mit Pflanzen, z. B. Lepidodendron Veltheimianum.

Devon.

Zeitalter der Panzerfische. Zahlreiche vierstrahlige Korallen, Bödenkorallen (Tabulaten) und Brachiopoden (Spirifer, Stringocephalus). Goniatiten und Klymenien. Starker Rückgang der Trilobiten. Ausbreitung der Landpflanzen (Psilophyton u. a.).

Rheinland, Belgien.	Böhmen.	Schottland.
III. Oberdevon.		
2. **Klymenien-Schichten.** Kalke mit zahlreichen Klymenien* und Goniatiten (Chiloceras u. a.). Zypridinenschiefer mit Massen von Entomis serratostriata*. Nehdener Schiefer mit verkiesten Goniatiten, (namentlich Chiloceras).		Old-Red-Sandsteine mit Panzerfischen (Pterichthys Abb. 58, Coccosteus) und Ganoiden (Holoptychius).
1. **Intumescens-Schichten.** Kellwasser-Kalk. Büdesheimer Schiefer mit Goniatites intumescens*, Goniatites simplex*, Bactrites gracilis. Mergel mit Rhynchonella cuboides*, Spirifer Verneuili* usw.		
II. Mitteldevon.		
2a. **Stringozephalenkalk** mit Stringocephalus Burtini*, Uncites gryphus, Maeneceras terebratum, Gyroceras nodosum, zahlreichen Korallen und Stromatoporiden.	4. Dunkle sandige Schiefer mit Stringocephalus Burtini*, Maeneceras terebratum, Aphyllites inconstans und Landpflanzen (Farnen, Gingkoazeen, Koniferen). 3) Knollenkalke von Hlubocep mit Anarcestes plebejus, Aphyllites occultus, Gyroceras nudum usw.	
2b. **Jüngere Lenneschiefer** mit zahllosen Tentakuliten (auch Wissenbacher Schiefer genannt). Darunter in der Eifel die Krinoidenzone mit Cupressocrinus*, Rhipidocrinus usw.	2. Tentakulitenschiefer.	In Nordschottland: Orkadische Schichten mit Osteolpis, Coccosteus, Pterichthys (Abb. 58).
1a. **Calceola-Schichten** mit Calceola sandalina*. Cyathophyllum helianthoides*, Heliolites porosa, Spirifer speciosus, Atrypa reticularis*, Pentamerus galeatus*, Orthothetes umbraculum*, Phacops Schlotheimi usw. Darunter Schichten mit Spirifer cultrijugatus.		
1b. **Ältere Lenne- und Tentakulitenschiefer** mit Calceola sandalina*, Spirifer speciosus usw. Günteroder, Ballersbacher und Greifensteiner Kalk.	1. **Knollenkalk** und **Muneniankalk** mit Aphyllites fidelis, Bronteus speciosus, vielen Dalmanites, Phacops*, Cheirurus usw.	
I. Unterdevon.		
4. **Obere Koblenzstufe** (Spiriferensandstein). Zu oberst: Schiefer mit Spirifer speciosus, Orthis striatula, Atrypa reticularis*. In der Mitte: **Grauwackenschiefer** mit Spirifer auriculatus und paradoxus, Orthis hysterita, Orthothetes umbraculum*, Pterinaea usw. Unten: **Koblenzquarzit** mit ähnlichen Versteinerungen.	**Konjepruss-Kalk** mit Bronteus palifer, Spirifer togatus, Rhynchonella princeps, Gyroceras alatum und zahlreiche Kapuliden (Mützenschnecken).	Kaledonische Schichten (Old-Red-Sandsteine) mit Cephalaspis, Pteraspis (Abb. 59), Pterygotus, Eurypterus.

Rheinland, Belgien.

3. **Untere Koblenzstufe.**

Grauwacken, Sandsteine und Schiefer mit Spirifer Hercyniae*, Orthis circularis, Homalonotus armatus, Pleurodictyum problematicum* usw.

2a. **Siegener Schichten** mit Spirifer primaevus, Rensselaeria crassicosta, Ctenocrinus typus.

2b. **Hunsrückschiefer** mit vielen Trilobiten, Kopffüßern, Seelilien, Seesternen, während Brachiopoden fast ganz fehlen.

Darunter: **Taunusquarzit** mit Spirifer primaevus, Rensselaeria crassicosta, im ganzen versteinerungsarm.

1. **Stufe von Gedinne**: Bunte Phyllite und Sandsteine mit Spirifer Mercurii, meist aber fossilfrei.

Böhmen.

Schottland.

Silur.

Blütezeit der Trilobiten, Nautileen, Zystideen (Beutelstrahler). Ausbreitung der Brachiopoden, Korallen und Seelilien. In der jüngeren Silurzeit erstes Auftreten der Fische und eigentümlichen Riesenkrebse (Eurypteriden). Erste Skorpione und Tausendfüßer. Erste Landpflanzen. „Kaledonische" Gebirgsfaltung in Nordeuropa.

II. Obersilur.

Skandinavien.

Kalkige Ausbildung.

Gotländer Kalk mit Halysites catenularia*, Favosites gotlandica*, Actinocrinus pulcher, Calymmene Blumenbachi, Dalmanites Downingiae, Pentamerus galeatus*, Orthis elegantula*, Atrypa reticularis*, Chonetes striatella*, Orthoceras annulatum.

Schieferige Ausbildung.

2. **Cardiola-Schiefer** mit Cardiola cornucopiae.

1. **Obere Graptolithenschiefer**, oben mit Retiolites, Monograptus* und Cyrtograptus,
unten mit Rastrites* und Monograptus*.

Böhmen.

3. Schichten mit zahlreichen Monograpten*.

2. Graue, kristalline Kalke, sehr versteinerungsreich, mit Calymmene Blumenbachi, Cheirurus insignis*, Harpes, Acidaspis, Lichas, Phacops, Cardiola cornucopiae, Halysites catenularia*, Orthoceras timidum (Abb. 69), Cyrtoceras*, Gomphoceras, Phragmoceras usw. (im ganzen etwa 800 Arten von Kopffüßern, 300 Brachiopoden, 100 Trilobiten).

1. Schwarze Graptolithenschiefer mit Monograptus*, Cyrtograptus, Rastrites*, Retiolites.

I. Untersilur.

6. **Leptaenakalk** Dalekarliens.

5. **Trinucleuskalk.**

4. Kalk mit Chasmops macrurus.

3. **Echinosphaeritenkalk** mit massenhaften Echinosphaerites aurantium* und anderen Zystideen, Platystrophia lynx, Orthis calligramma usw.

6. **Brachiopodenschiefer** mit Illaenus und vielen Brachiopoden.

5. **Trinucleusschiefer** mit vielen Trinucleusarten*.

4. und 3. **Mittlere Graptolithenschiefer** mit Didymograptus* und Diplograptus* (Abb. 66 E).

6. Schiefer mit Agnostus tardus, Diplograptus usw.

5. Schiefer und Sandsteine mit Trinucleus Goldfussi*, Cheirurus claviger, Zystideen usw.

4. Sandsteine mit Asaphus ingens, Dalmanites socialis usw.

3. Schwarze Schiefer mit Placoparia Zippei, Ogygia, Aeglina (Abb. 65), Didymograptus* usw.

Skandinavien.		Böhmen.
Kalkige Ausbildung.	**Schieferige Ausbildung.**	
2. **Orthozerenkalk** mit massenhaften großen Orthozeren, z. B. Endoceras, ferner mit Lituites lituus*, Asaphus expansus*, Illaenus, Megalaspis, aber sehr wenigen Brachiopoden.	2) **Untere Graptolithenschiefer** mit Phyllograptus*, Dichograptus und Didymograptus*.	2. Diabase, Schalsteine und Roteisensteine mit Orthis, Lingula, Didymograptus*, Amphion usw.
1. Kalke, oben mit Ceratopyge forficula, unten mit Dictyograptus socialis (flabelliformis), im übrigen zum Teil noch mit **kambrischen** Trilobiten.	1. Schiefer wie nebenstehend.	1. Grauwacke mit Lingula, Obolella, Conularia (vielleicht schon **kambrisch**).

Kambrium.

Herrschende Tierformen: Trilobiten und hornschalige Brachiopoden. Zeitalter der Ruhe.

III. Oberkambrium (Olenus-Schichten).

Schweden.	Baltische Provinzen.	Böhmen.
2. Zone des Dictyograptus socialis (vgl. Untersilur).	2. Schieferton mit Dictyograptus socialis.	
1. **Alaunschiefer** mit Olenus truncatus* u. a.	1. **Unguliten-Sandstein** mit massenhaften Resten von Obolus Apollinis*.	

II. Mittelkambrium (Paradoxides-Schichten).

Alaunschiefer mit Paradoxides-Arten*.		2. **Jinetzer-Schiefer** mit Paradoxides bohemicus* und spinulosus, Conocoryphe, Ellipsocephalus*, Hyolithen*, Obolus* und Zystideen. 1. **Przibramer Grauwacke** mit Orthis und Ellipsocephalus*.

I. Unterkambrium (Olenellus-Schichten).

3. Zone des Olenellus Kjerulfi*.		
2. **Fukoidensandstein.**	2. **Fukoidensandstein.**	
1. **Eophyton-Sandstein** mit Mickwitzia monilifera, Medusenresten* und zweifelhaften Pflanzenresten.	1. **Eophyton-Sandstein** mit Olenellus Mickwitzi, Mickwitzia monilifera, Medusen*, Schnecken, Resten von Zystideen und zweifelhaften Pflanzenresten.	

Algonikum (Präkambrium).

Spärliche Reste von Urtieren, Stromatoporiden, Würmern, Krebsen, hornschaligen Brachiopoden, Medusen, Zystideen. Zeitalter lebhafter Gebirgsfaltung und starker vulkanischer Tätigkeit.

Nordamerika
(Minnesota, Michigan, Wiskonsin).

5. **Oberes Keweenawan.**

Trümmergesteine mit eingeschalteten Eruptivlagern, etwa 4500 m mächtig.

4. **Unteres Keweenawan.**

Eruptivgesteine mit untergeordneten Einlagerungen von Sedimenten, bis zu 10000 m mächtig. Hier die berühmten Kupfererzvorkommen des oberen Sees.

Lücke.

3. **Huron.**

Quarzite, Phyllite, Schiefer, zum Teil kohlig. Magneteisen und vulkanische Gesteine. Etwa 3500 m mächtig.

Lücke.

2. **Keewatin.**

Stark gefaltete, kristallinische Schiefer, von zahlreichen laurentinischen Eruptivgängen durchsetzt. Etwa 1500 m mächtig.

1. **Laurentium** (azoisch).

Granit und Granitgneis.

Finnland.

4. **Jotnian.**

Ungefaltete Quarzite, Sandsteine mit Wellenfurchen, Konglomerate, Tonschiefer, etwa 2000 m mächtig. Diabase und Rapakiwigranit.

Lücke.

3. **Jatulian.**

Gefaltete Tonschiefer, kohlige Schiefer, Anthrazit, Dolomit, Eruptivgesteine. 1500—2000 m mächtig.

Lücke.

2. **Kalevian.**

Stark gefaltete kristallinische Schiefer.

Lücke.

1. **Bottnian** und **Ladogian.**

Kristallinische Schiefer, von Graniten durchsetzt.

Darunter: Granit und Granitgneis ohne Sedimente (azoisch).

Prof. W. Eitel Königsberg bestimmt in „Naturwissenschaften" Heft 17/1925 das Alter der untersuchten Präkambrien. Ergebnis: Radioaktivität auf 1100–1200 Millionen Jahre.

Sachregister.

Aarmassiv 338, 367.
Abdrücke 4.
Abrasion 232.
Abtragung 8, 141.
Aceratherium 21.
Ackerkrume 145.
Adelsberger Grotte 268.
Adriatisches Meer 359, 362.
Äolische Ablagerungen 322—333.
Ätna, parasitische Kegel 97.
Aëtosaurus 43.
Agnostus pisiformis 68.
Airolo 340.
Akratopegen 261.
Alaunschiefer 176.
Alauntone 176.
Algenkalke 156.
Algonkium 70—73.
Alkalifeldspat 126.
Allotheria 44.
Alm 162.
Alpenseen 305—307.
Alttiere 18.
Ammoniten 28.
Ammonshörner 29.
Amphibolitzug von Ivrea 341, 368.
Amphicyon 21.
Anchitherien 21.
Andermatt 339.
Angiospermen 24.
Anhydrit 254.
Anoplotherium 18.
Anthracotherium 18.
Antiklinale 346, 362, 366.
St. Antönien im Prätigau 347.
Apatit 128, 136.
Apus 40.
Aragonit 259.
Araukarien 50.
Archaeopteryx 36.
Arctocyon 16.
Argonauta 30.
Arkose 151.
Armfüßer 62, 69.
Artesischer Brunnen 244.
Asbest 127.
Atlantis 61, 187, 196.
Atlantische Faltenzüge 366.
Atlantosaurus 26.
Atoll 189.
Auerbacher Kalk 166.
Aufschlüsse 2.
Aurisinaquellen 268.
Autochthones Gebirge 346.
Avicula contorta 42.
Axenstein 338.
Axenstraße 338, 358.
Azoisches Weltalter 73.

Bandai-San 104, 370.
Barbarossahöhle 254.
Barrancas 98.
Basalt 20, 90.
Basaltsäulen 91.
Batocrinus pyriformis 54.
Bauxit 145.
Bedrettomulde 340.
Belemniten 28.
Bellinzona 341.
Benediktenwand 351.
Bergfeuchtigkeit 239.
Bergstraße 165.
Beutelstrahler 66.
Bimsstein 130, 161.
Biotit 127, 150.
Bischofsstab 67.
Bitterquellen 257, 262.
Blautopf 266.
Blocklava 106.
Blocklehm 3, 288, 293.
Bocca 106.
Bodenständigkeit der Steinkohlenflöze 48.
Bogendüne 323.
Bohrmuscheln 144.
Bomben 95, 96.
Bonifaziuspfennige 41.
Bora 263.
Bozener Quarzporphyr 57, 131, 343.
Brachiopoden 63.
Branchiosaurus 52.
Brandschiefer 176.
Brandungstore 227.
Braunkohlen 17, 20.
Brenner Schiefer 337.
Bruzit 171.
Bryozoen 158.
Bündner Schiefer 336, 347, 353.
Büßerschnee 225, 282.
Buntsandstein 38, 328.

Cañon 213.
Caprinula Baylei 27.
Casamicciola 371.
Ceratites nodosus 42.
Ceratodus 61.
Chianequelle 266.
Chlorit 151.
Chlornatrium im vulkanischen Magma 258.
Chlorzinn 140.
Clierzou 87, 88.
Coccosteus 61.
Compsognathus 37.
Crag 23.
Ctenacanthus 54.

Deckenbau d. Alpen 345 bis 349.
Deckenbildung 346.
Deckenland 346.
Deflation 141, 318.
Dendriten 150.
Denudation 8, 141.
Devon 60—63.
Diagenese 153, 257.
Diagramme der Fernbeben 386—388.
Dicroceras 21.
Dikotylen 25.
Diluvium 11—13.
Dinariden 351.
Dinotherium 20.
Diplograptus 66.
Diploporen 157.
Dislokationsbeben 370, 374.
Dogger 32, 34.
Dolinen 263, 267.
Dolomit 168—171.
Domvulkane 86—93.
Donauversickerung 264.
Donnerkeile 29.
Dreikanter 320.
Dreilappkrebse 62.
Dreiseisselstein 150.
Dresdener Heide 323.
Drifttheorie 292.
Druckmetamorphose 142.
Drumlins 288.
Dünenbildung 324.
Dünenwall 233.
Dünnschliff 128.
Dynamometamorphismus 141.
Dwykakonglomerat 295.

Echinosphaerites aurantium 66.
Einsprenglinge 130.
Einsturzbeben 371.
Eisberge 292.
Eisbrunnen 280.
Eisenquellen 262.
Eislawinen 307.
Eiszeit 11, 58, 72, 287, 293.
Elbsandsteingebirge 185, 210.
Elephas meridionalis 21.
Elephas primigenius 13.
Encrinus liliiformis 41.
Endmoränen 283, 287, 290.
Eozän 15.
Eozoisches Weltalter 70-73.
Eozoon 171.
Epizentrum 375, 385, 388.
Erbsenstein 259.
Erdbeben, Einteilung 369.
Erdbebengeräusche 371.
— inseln 386.
— messer 386.
— spalten 376, 381.
— trichter 379.
— wellen 385.
Erdfälle 263, 371.
Erdferkel 24.
Erdöl 250.
Erdpyramide 224, 282.
Erdrinde, ihre Dicke 76, 77, 388.
Erhebungstheorie 84, 365.
Erosion 209, 225.
Erosionsgebirge 209.
Erratische Blöcke 290.
Eruptivgesteine 6.
Eruptivgneise 73, 142.
Eruptivstöcke 133, 383.
Erzlagerstätten 85.
Estheria minuta 40.
Etangs 326.
Exaration 298.
Exotische Blöcke 335, 358.
Explosionskrater 111.
Explosionsröhren 110, 111.

Facettengeschiebe 320.
Faltengebirge im Tertiär 14, 18.
— im Karbon 56.
— im Silur 67.
— im Algonkium 71.
Farnbäume 50.
Faulhorn 356.
Fazies 39.
Faziesbezirke d. Alpen 350 bis 359.
Feldspat 126, 150.
Felsenmeere 148.
Fenster 348.
Ferdinandea 116.
Fernbeben 386—389.
Feuergesteine 6, 128.

Feuersteinknollen 155.
Fimbertal 349.
Findlinge 290—292.
Fingalhöhle 91.
Fjorde 202, 231, 306.
Firn 272.
Flachküste 233.
Fladenlava 106.
Fleckschiefer 134.
Flossenfüßer 180.
Fluorzinn 140.
Flutwellen 382—384.
Flysch 176, 335, 346, 357.
Foraminiferen 17, 153, 160.
Formation 5.
Forsterit 171.
Fortpflanzung der Erdbeben 384.
Frühlingsquellen 245.
Fukoiden 333, 337.
Fumarolen 84, 258.
Fusiyama 86.
Fusulinen 53, 154.

Galapagosinseln 189.
Ganoiden 37, 176.
Gargellen 348.
Gavarnie, Cirque de 301.
Gebirgsfaltung 14, 18, 56, 59, 67, 71, 82, 185, 209, 345.
Geiser 117, 248, 370.
Gempisluh 348.
Gemündener Maar 111.
Geologie 1.
Geosynklinale 361, 366, 374.
Geothermische Tiefenstufe 7
Gerad hörner 66.
St. Gervais 308.
Geschiebemergel 3, 288, 293.
Gips 254—256.
Gipstone 176.
Giswiler Stock 355.
Glanzschiefer 134, 182, 337.
Glärnisch 346.
Glaswaldsee 302.
Glaubersalz 259.
Glaukonit 157, 179.
Glaziale Ablagerungen 283 bis 293.
Glazialerosion 298.
Glazialtheorie 293.
Gleitbewegungen 209, 346, 356, 363.
Gletscher 272.
Gletscherbach 280, 281.
Gletschererosion 298.
Gletscherkatastrophen 307 bis 310.
Gletschermühle 280.
Gletscherschliffe 293—296.
Gletscherschwankungen 310 bis 317.
Gletschertisch 278, 282.
Gletschertöpfe 296—298.
Gletschertor 280, 316.
Glimmer 74, 126, 142, 183
Glimmerschiefer 74, 183.
Globigerinenschlick 153, 178.
Glossopteris indica 58.
Glutwolken 101.
Gneis 73, 78, 142.
Göpfersgrün 137.
Göschenen 339.
Gotthardbahn 337—342.
Gotthardmassiv 339, 367.
Grabenversenkung 304.
Granat 183.
Granit 73, 126.
Graptolithen 64, 181.
Gröbener Sandstein 132.
Grotten 172.
Grottenolm 271.
Grünalgen 157.
Grundmoräne 284.
Grundwasser 236—241, 379.
Grünschlamm 179.
Grünten im Algäu 357.
Guanaxuato 371.
Gymnospermen 24.
Gyrodus 37.
Gyroporellen 157.

Haarsterne 53.
Habituelle Stoßlinien 375.
Hakenwerfen der Schichten 224.
Halbaffen 16.
Halligen 206.
Heber 247.
Hechtsee bei Kufstein 379.
Helgoland 228—231.
Helm 325.
Helvetischer Faziesbezirk 354—359.
Hessisches Bergland 186.
Hipparion 22.
Hochgebirgskalk 355.
Höhlen 172.
Höhlenflüsse 265—271.
Hohltiere 158.
Hornblende 127.
Hornfelse 134.
Hungerbrunnen 246.
Hydrargillit 146.
Hydrate 145.
Hyolithen 69.
Hyracotherium 16.

Ichthyosaurus quadriscissus 33.
Iguanodon Bernissartensis 26.
Innenmoräne 285.
Inseln, ozeanische 187.
Insolation 144, 321.
Intermittierende Quellen 245—248.
Island, Erdbeben 370.
Jura 28—38.
—, brauner 34.
—, schwarzer 32.
Jura, weißer 35, 113.
Juvenil 237.
Ivrea 290, 341, 368.

Kalabrien, Erdbeben 380, 382.
Kalamiten 49.
Kaledonisches Gebirge 67.
Kaliglimmer 127.
Kalisalze 54, 254.
Kalk 152.
Kalkalgen 160.
Kalkalpen, nördliche 39, 157, 209, 338, 352, 355.
Kalkalpen, südliche 342, 343.
Kalksinter 164.
Kalkspat 152.
Kalkstein 256.
Kambrium 68—70.
Kammerlinge 17.
Kaolin 136, 140, 176.
Karbonische Alpen 56.
Karbonzeit 47—60.
Kare 300—302.
Karlovca 270.
Karrara 166.
Karrenfeld 171.
Karruformation 44.
Karst 172, 262—264, 267 bis 271.
Kantengeschiebe 320.
Keuper 38, 42.
Kieselkalk 155.
Kilauea 105.
Kingston auf Jamaika 374.
Klamm 217.
Kliff 226.
Klimaperioden 310.
Klingstein 90.
Klippen 335, 352, 355.
Knorpelfische 65.
Knospenstrahler 54.
Knotenschiefer 134.
Köchertiere 69.
Kochsalz im vulkanischen Magma 258.
Kochsalzquellen 262.
Kohlenkalk 53.
Kohlensäure 4, 57, 84, 85, 158, 237, 238, 248 bis 250, 252, 253, 262.
Kohlensäuretheorie von Arrhenius 57.
Kohlenwasserstoffe 250 bis 252.
Kokkolithen 153.
Kolorado 213—216.
Kommunizierende Röhren 244.
Koniferen 50.
Konkretionen 155.
Konstanz der Ozeane 180.
Kontakthof 134.
Kontaktmetamorphose 134.
Kontinentalböschung 178, 194, 364.
Kontinentalklima 315.
Kontinentalschlamm 177.
Kontinentalstufe 177, 178.
Korallen 35, 54, 158.
Koralleninseln 188, 158, 189—191.
Korallenkalke 158—161.
Korallenriffe 158—160, 189, 190.
Korallensand 161.
Kordaiten 50.
Kordillere, südamerikanische 360.
Korrosion 212.
Krakatau 99.
Kräuselmarken 328
Kreide 24—28.
Kristallsandsteine 152.
Kulm 53.
Kunzen 326.
Kupferschiefer 176.
Kurische Nehrung 326.
Küstenversetzung 232.
Kyanequelle 266.

Laaser Marmor 167.
Lago Maggiore 341.
Laibach 269.
Laimen 329.
Lakkolithe 93, 133.
Lapilli 95, 96.
Laterit 145.
Laubpflanzen 24.
Lava 75, 89, 105.
Lavaströme 105—107.
Lehm 145, 329.
Leitfossilien 5.
Lepidodendren 50.
Lepidotus 37.
Lepontinischer Fazies-Bezirk 352—354.
Lesesteine 2.
Lettenkohle 42.
Lias 32.
Lindner Höhle 268.
Lingula 5, 69.
Liparit 129, 257.
Lissabon, Erdbeben 374, 379, 382.
Lithium 138.
Lithographische Schiefer 36.
Lithothamnium 156.
Lituites 67.
Löß 328—333.
Lößkindeln 328.
Lößschnecken 330.
Lugano 342.
Luisenburg 147.
Luzerner Gletschergarten 297.

Maare 110.
Machaerodus 21.
Madrisa 348.
Magma 135, 237.
Magnesiaglimmer 127, 134, 150.
Mainzer Becken 19.
Malm 32, 35.
Malmkalk 355.
Mammut 12.
Manganknollen 179.
Marmelon, Zentral 87.

Martinique 100, 121.
Mastodon 20.
Mauls 351.
Meißner 93.
Mergel 177.
Mesozoisch 45.
Messina, Erdbeben 380, 382.
Metamorphose 7, 70, 73, 134, 136, 153, 165, 181, 336.
Methana 87.
Mineralquellen 84, 237, 252—262.
Mineralstoffe der Quellen 252—262.
Minette 34.
Mino-Owari-Beben 376.
Miocän 18—21.
Mittelalter der Erdgeschichte 45.
Mofette 84.
Molasse 18, 337.
Monokotylen 25.
Montblanc 345.
Monte Cenere 342.
Monte Gargano 359.
Monte Nuovo 96.
Monte Olimpino 342.
Monte Rosa 345.
Mont Pelé 100—104, 121.
Morteratschgletscher 278.
Moostierchen 158.
Moränen 275, 283—290.
Moränen-Amphitheater 290.
Muntjakhirsche 21.
Murbruch 221.
Muschelbänke 156.
Muschelkalk 38, 41.
Muschelsand 156.
Muskovit 127.
Muttler 349.
Mythen 335, 355.

Nagelfluh 290, 337, 342.
Namedysprudel 248.
Natrolith 90.
Nautilus 29.
Neck 104.
Neckarsaurier 43.
Nephrit 127.
Nereitenschiefer 72.
Nesseltiere 159.
Niagara 218.
Nieſen 352.
Nulliporen 157.
Nummuliten 17, 154.

Oase 245.
Oberahnesche Felder 206.
Obsidian 130.
Old Red 61
Oligozän 17, 18.
Ölschiefer 176.
Oolithe 34.
Ophikalzit 171.
Orgeln, geologische 172
Orthit 128.
Orthoceras timidum 67.
Orthoklas 126.
Orthozeratiden 66.
Ostalpen 343.
Ostalpiner Fazies-Bezirk 352
Ötztaler Alpen 349.
Oxfordformation 356.

Paläotherien 18.
Paonazzo 168.
Papierboot 30.
Paradoxides 69.
Pareiosaurus Baini 44.
Paßvergletscherungen 313.
Pechstein 130.
Pelagosa 360.
Penguin-Tiefe 192.
Pentacrinus 32.
Pentremites sulcatus 54.
Periklas 171.
Peripherische Vulkanherde 75—77, 121.
Perlboot 29.
Perm 45, 47, 54, 57.
Persgletscher 277.
Petroleum 250—252.
Pfahlschiefer 142.
Pferd 22.
Pflanzentiere 158.
Phenacodus 15.
Pholaden 144.
Phonolith 90.
Photogen 251.
Phyllit 182.
Pillau 327.
Pilzfelsen 322.
Plagioklase 126.
Planinagrotte 269, 270.
Plesiosaurus 33.
Pliozän 21—23.
Poik 268.
Ponore 269.
Porphyr 130.
Porzellanerde 136.
Predazzo 171.
Protogin 338.
Psammochelys 44.
Pteraspis 61.
Pterichthys 61.
Pteropoden 180.
Puerco beds 188.
Puzzolanerde 108.

Quarz 126, 259.
Quarzporphyr 130.
Quellen 236, 239, 241 bis 250.
Quellen, heiße 84, 237, 238, 257.
Quellkuppe 86, 103.
Quelltopf 264.

Rackbachkessel 270.
Radioaktivität der Gesteine 114.
— der Quellen 260.
Radiolarien 180.
Radium 82, 114, 125, 260.
Rakata 99.
Rätikon 348.
Rauhwacke 170.
Regelation 278.
Reichenbach im Odenwald 148.
Reka 267.
Requienia ammonia 27.
Rhabdolithen 153.
Ries 111, 112.
Riesenschachtelhalme 49.
Riesentöpfe 296—298.
Rigi 337.
Rippelmarken 328.
Roches moutonnées 296.
Rockall 188.
Röt 41.
Rotalgen 157.
Rotliegendes 54, 57.
Rotschlamm 179.
Rüdersdorfer Kalkbruch 298.
Rudisten 28.
Rundhöcker 293, 295.
Rutil 175.

Salsen 250.
Salzton 176.
Sammeltypen 15.
Sandstein 132 152.
San Franzisko, Erdbeben 378.
Santoringruppe 108.
Säuerlinge 85, 237, 249, 262.
Schalenbreccien 156.
Schichtgesteine 5.
Schichtquellen 243.
Schichtung 5.
Schichtvulkane 86, 94.
Schiefer, Kristalline 74, 182—184.
Schieferung 6, 182.
Schlammsprudel 250.
Schlammvulkane 250.
Schlauchalgen 157.
Schlerndolomit 157, 162.
Schmelzschupper 37, 176.
Schneegrenze 275.
Schöllenen 339.
Schratten 171.
Schreibkreide 154.
Schrumpfung des Erdinneren 81, 195, 207, 360.
Schuppenbäume 50.
Schutthalden 224.
Schwäbische Alb 111.
Schwämme 35, 158.
Schwammkalke 158.
Schwammriff 36.
Schwammtheorie 242.
Schwarzerde 333.
Schwefel 179.
Schwefelkies 35, 176.
Schwefelquellen 262.
Schweremessungen 82, 193, 360.
Schynige Platte 356.
Sedimente 5.
Seeäpfel 66.
Seebeben 192, 382.
Seegebirge 342.
Seeklima 315.
Seekreide 162.
Seelilien 32.
Seeschwämme 35.
Seismometer 386.
Séracs 274.
Serapistempel bei Pozzuoli 204—206.
Serizit 175.
Serpentin 171.
Sichelbüne 323.
Siebengebirge 186.
Siegelbäume 51.
Sigillarien 51.
Silberwurz 12.
Silur 63—68.
Silurische Gebirgsfaltung 67.
Silvretta 347.
Simelihorn 355.
Simplon 353.
Siphone 270.
Sog 233.
Sognefjord 203.
Solfataren 84.
Solnhofener Schiefer 36.
Solquellen 254, 257, 262.
Somma 97.
Sombrero 206
Sorgue 266.
Soufrière 121.
Spaltenfrost 144, 298.
Spaltquelle 244.
Speckstein 137.
Spongien 35. 158.
Springquellen, heiße 117.
Springsaurier 37.
Sprudelschale 259.
Stack 227.
Statuario 166.
Staubstürme 318, 319, 330, 331.
Stavoren 199.
St. Canzian 267.
Stegozephalen 52.
Steilküste 226.
Steinalgen 156.
Steinkerne 4.
Steinkohlen 4, 32, 42, 47—49.
Steinkohlenwälder 49—51.
Steinsalz 254.
Stöcke 133.
Stolpener Schloßberg 89.
St. Pierre 100—102.
Stranddünen 324.
Strandhafer 325.
Strandlinie 191, 201.
Strandroggen 325.
Strandterasse 226.
Strandverschiebungen 198—208.
Strandweizen 324.
Stundenquellen 246.
Südalpiner Bezirk 350 bis 352.

Südkontinent, paläozoischer 61, 197.
Sulfide 179.
Sumpfgas 4, 250, 251.
Superga 344.
Süßwasserkalke 162.
Symbiose 193.
Synklinale 346.

Talchirkonglomerat 295.
Talk 137.
Tangentialdruck 362.
Tauern, hohe 352.
Tektonische Beben 369.
Tektonische Kräfte 81.
Telegraphenkabel 364, 374.
Teleosaurier 37.
Terebratel 63.
Tertiärzeit 14—24.
Tessiner Massiv 341.
Tethys 14, 25, 355.
Theriodontier 44, 53.
Thermen 84, 237, 238, 257.
Thermenlinie 376.
Thüringer Wald 186.
Tiefbeben 369, 372—374.
Tiefenvulkane 83.
Tiefseeschlamm 153, 156.
Tiefseeton, roter 153, 178 bis 180.
Tigerauge 127.
Tithonkalk 349.
Ton 174.
Toneisenstein 34.
Tonerde 145.
Tongesteine 174.
Tonschiefer 134, 175.
Tonschiefernädelchen 175.
Topas 138.
Trachyt 87, 89.
Transgressionen 25, 194.
Travertin 163.
Trias 38—44.
Triceratops 27.
Triebsand 327.
Trilobiten 62, 181.
Trochiten 41.
Trockentäler 239.
Trogtäler 302—304.
Tropfstein 164, 268.
Tropfsteinhöhlen 164.
Tschernosjom 333.
Turmalin 135, 168.
Tuscarora-Tiefe 191.
Tyrrhenis 19.

Überfallquelle 243.
Uferbildung 220.
Unterengadin 349.
Unterirdische Gewässer 235.
Unterseeische Vulkane 107 bis 110, 382, 383.
Unz 269.
Urgebirge 73.
Urirotstock 347.
Urkalk 163.
Urkrebse 62.
Urmeere 74.
Urmensch 13.
Urserental 339.

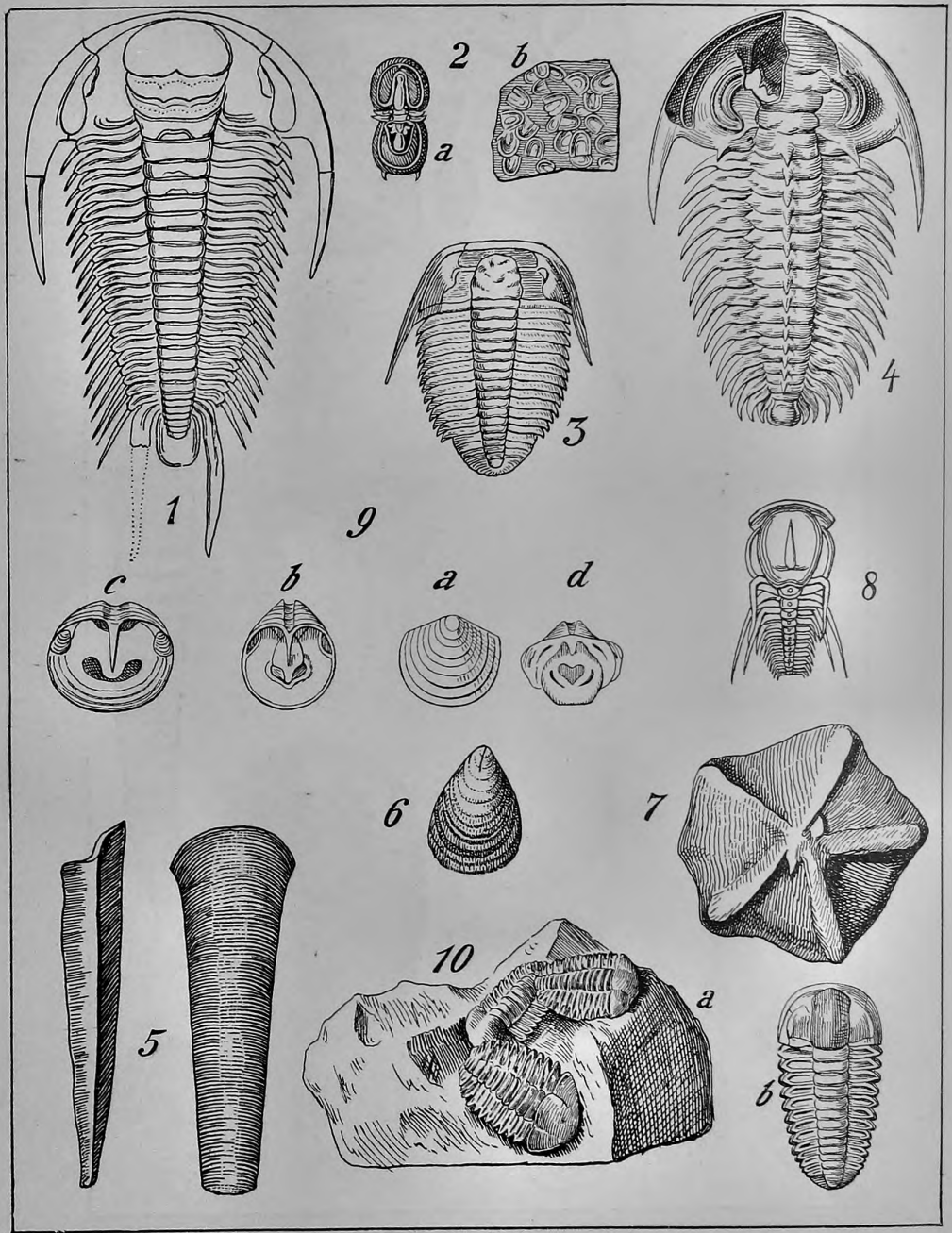
Vados 237.
Vaucluse 266.
Velebitgebirge 360.
Verkohlung 4.
Vernagtferner 308.
Versteinerungen 3.
Vesuv 94, 97—99.
Verwerfung 216.
Verwerfungsquelle 244.
Verwitterung 8, 143, 212.
— chemische 145.
— kumulative 147.
— organische 145.
— physikalische 143.
Via Mala 182, 336.
Vindelizisches Gebirge 358.
Vineta 199.
Vitrioltone 176.
Voralpen, Romanische 352.
Vulkane (Allgemeines) 75, 83.
Vulkane, ihre Verteilung auf der Erdoberfläche 120.
Vulkanische Ausbrüche, Ursachen 114—124.
Vulkanismus 59, 75—78, 81—85, 364.

Wasserstuben 308.
Wasservulkane 120.
Weißenstein 150.
Wiesenmergel 162.
Wellenfurchen 328.
Weltalter 9.
Westalpen 344.
Wettersteinkalk 157, 351.
Widersee 233.
Wiener Wald 358.
Wildschweine 21.
Wind 318.
Windgälle 338.
Windschliff 320.
Wüste 320—324.
Wüstenlack 320.

Xiphodon 16.

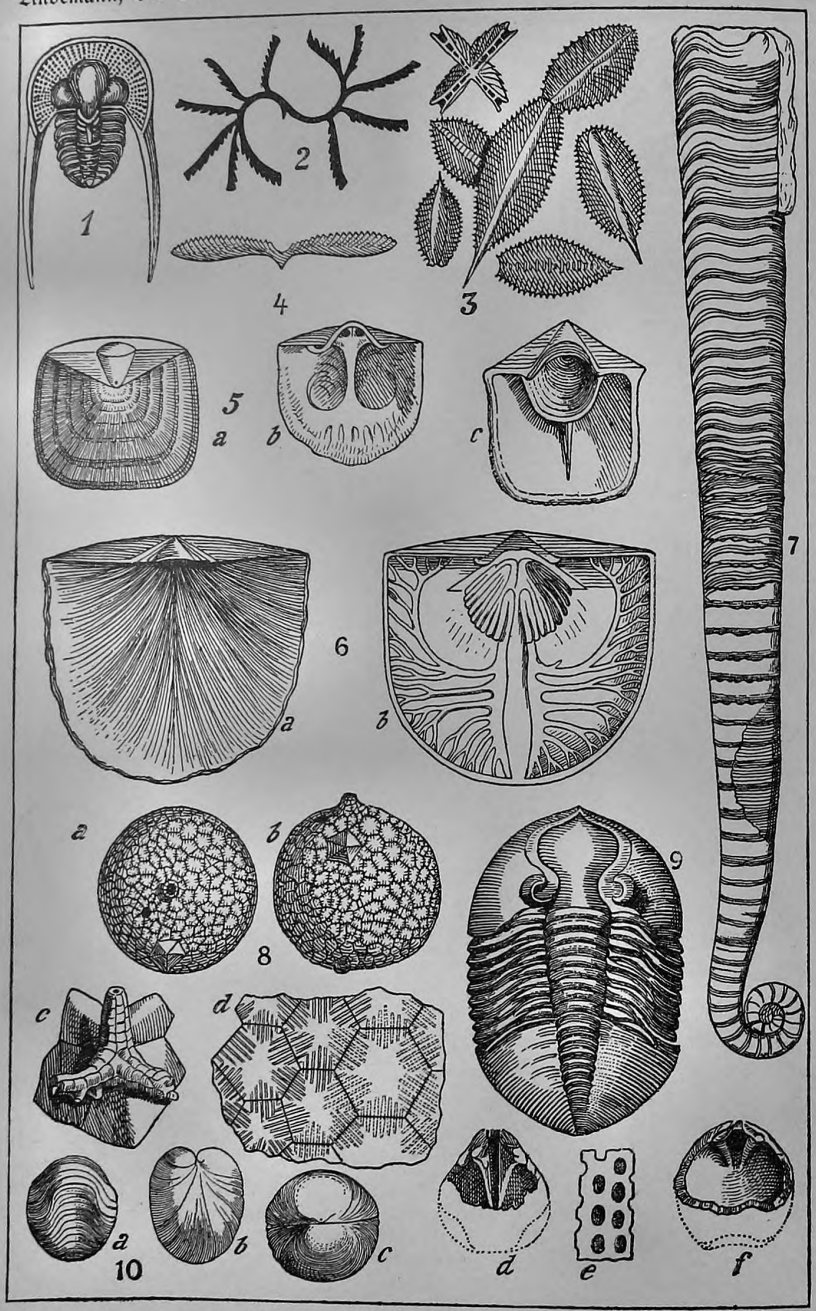
Yakutat-Bay i. Alaska 376.
Yellowstone-Nationalpark 84.

Zackenfirn 282.
Zanklodon 43.
Zapfquelle 244.
Zechstein 54.
Zellendolomit 170.
Zellulose 4, 157.
Zeratopsiden 27.
Zeugen 320.
Zinnstein 138.
Zirknitzersee 269.
Zirkustal 300.
Zölenteraten 158.
Zufallferner 308.
Zuger See 363.
Zungenmuschel 5, 69.
Zwischeneiszeiten 12.
Zykadeen 43.
Zystideen 66.



Kambrische Versteinerungen.

1—4. Trilobiten. 1. Paradoxides bohemicus. 2. Agnostus pisiformis, a vollständiges Exemplar, vergrößert; b Schieferplatte mit losen Kopf- und Schwanzschildern. 3. Olenus truncatus. 4. Olenellus Kjerulfi. 5. Hyolithes parens, ein Köchertier, vielleicht zu den Ruderschnecken (Pteropoden) gehörig. 6. Lingulella Davisii, ein hornschaliger Armfüßer. 7. Medusites Lindströmi, Ausguß der Leibeshöhle einer Meduse. 8. Hydrocephalus carens, Trilobit mit ungewöhnlich großem Kopfschild. 9. Obolus Apollinis, ein hornschaliger Armfüßer (a kleine Schale von außen, d dieselbe von innen, b, c große Schale von innen). 10. Ellipsocephalus Hoffi, ein Trilobit.

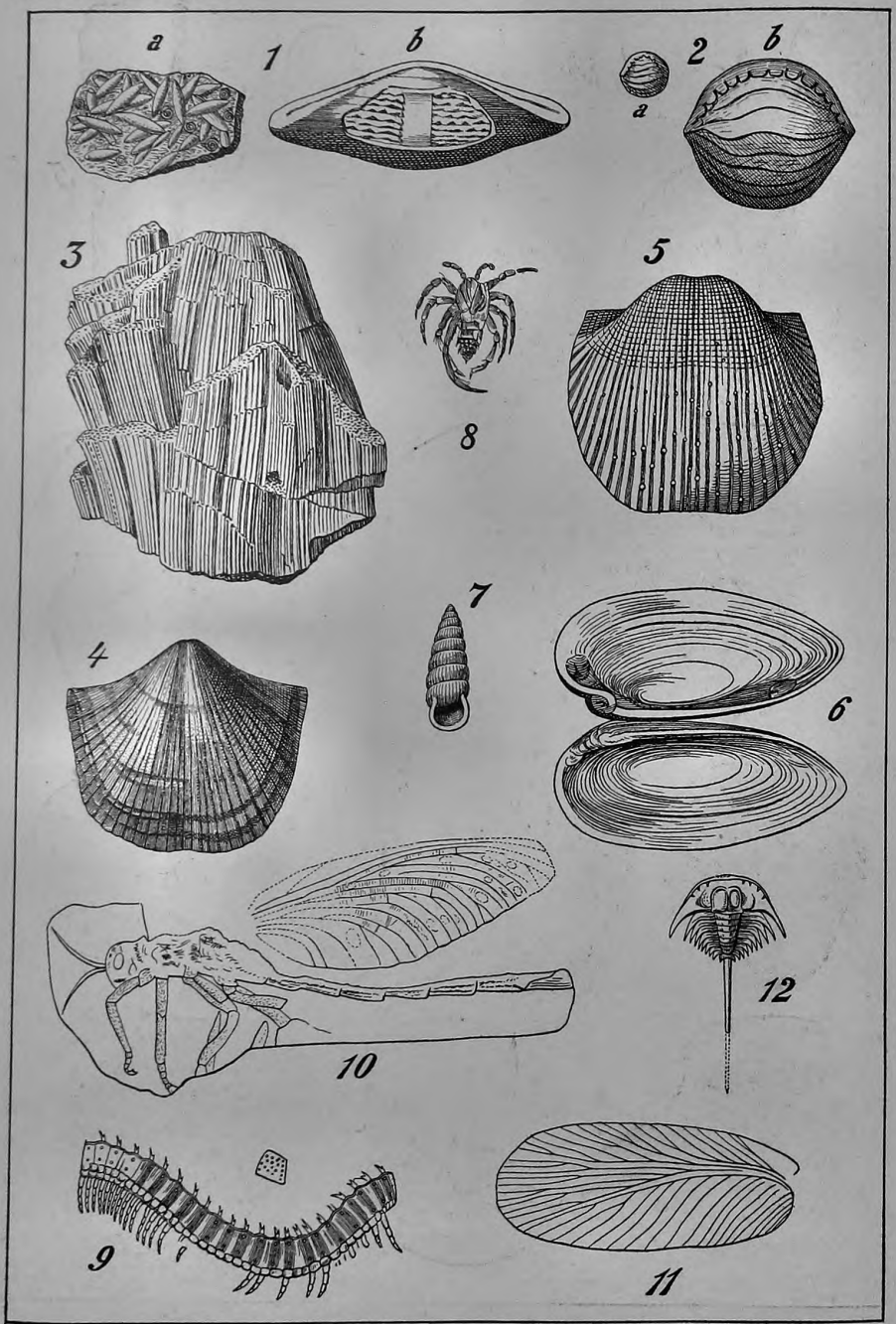


Untersilurische Versteinerungen.

1. Trinucleus Goldfussi, ein Trilobit. 2—4. Graptolithen. 2. Coenograptus gracilis. 3. Phyllograptus typus. 4. Didymograptus pennatulus. 5, 6. Brachiopoden (Armfüßer). 5 a. Orthisina ascendens. 5 b. Orthisina squamata, b kleine, c große Schale von innen. 6 a. Strophomena alternata. 6 b. Strophomena expansa, große Schale von innen mit Muskel- und Gefäßeindrücken. 7. Lituites lituus, ein zur Perlbootfamilie gehörender Kopffüßer. 8. Echinosphaerites aurantium, ein Beutelstrahler, a von oben, b von der Seite, c Mund mit getäfelten Ambulakralfurchen, d einige Täfelchen (vergrößert) mit rautenförmig angeordneten Poren und Kanälen. 9. Asaphus expansus, ein Trilobit. 10. Parambonites aequirostris, ein Brachiopode, a, b, c Schale von verschiedenen Seiten; d, f beide Klappen von innen; e ein Schalenstück, vergrößert, um die Poren zu zeigen.

Obersilurische Versteinerungen.

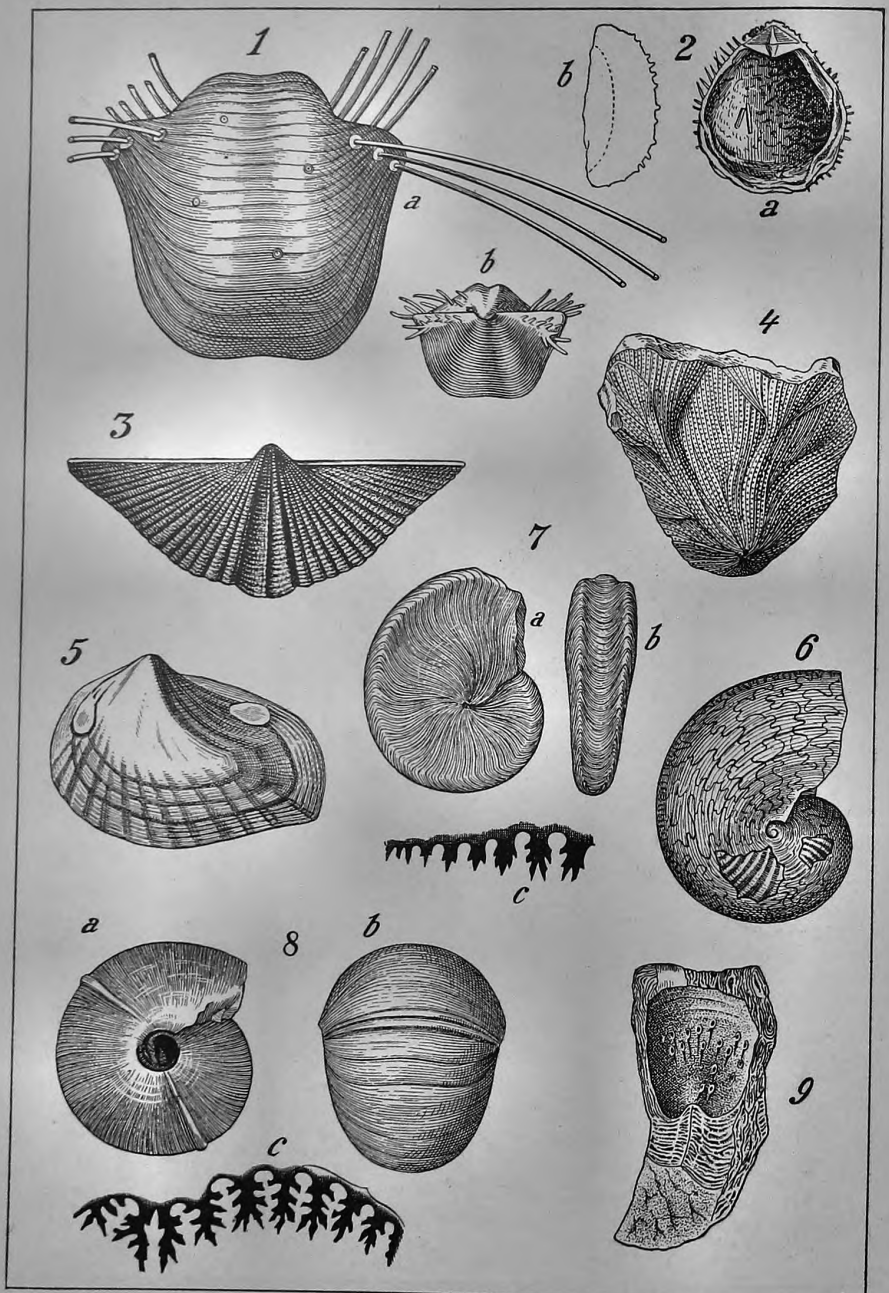
1. 2. Graptolithen. 1a Monograptus Nilssoni, b Monograptus colonus, c Monograptus turriculatus. 2. Rastrites Linnéi. 3. Orthoceras pelagicum, ein Geradhorn, der Länge nach gespalten, um den Sipho und die Kammern zu zeigen. 4. Cyrtoceras Murchisoni, den Geradhörnern nahe verwandt. 5—7. Trilobiten. 5. Cheirurus insignis. 6. Homalonotus delphinocephalus. 7. Acidaspis Dufrenoyi. 8—12. Brachiopoden (Armfüßer). 8. Orthis elegantula, a von innen, b von außen. 9. Strophomena rhomboidalis. 10. Chonetes striatella. 11. Pentamerus galeatus. 12. Atrypa reticularis, a von der Schnabelseite, b Innenansicht mit Armgerüst. 13. Cyathocrinus longimanus, eine Seelilie. 14. 15. Tabulaten (Bödenkorallen). 14. Favosites gotlandica. 15. Halysites catenularia, a herauspräparierte Zellen, b versteinerte Kolonie. 16. Omphyma subturbinatum, vierstrahlige Einzelkoralle.



Versteinerungen des marinen Oberkarbons (1–5) und des produktiven Karbons (6–12).
1. 2. Foraminiferen. 1. Fusulina cylindrica, a ein Stück Fusulinenkalk, b einzelne Schale vergrößert. 2 a Schwagerina, b vergrößert. 3. Chaetetes radians, eine Koralle unsicherer Stellung, setzt bei Moskau ganze Schichten des Kohlenkalks zusammen. 4. 5. Brachiopoden. 4. Spirifer mosquensis. 5. Productus semireticulatus. 6. Anthracosia Lottneri, Süßwassermuschel der Steinkohlenmoore. 7. Dendropupa vetusta, die älteste bekannte Landschnecke 8. Protolycoso anthracophila. 9–12 Gliedertiere der Steinkohlenformation. 9. Euphoberia armigera, ein Tausendfuß. 10. Titanophasma Fayoli, riesenhafte Heuschrecke. 11. Etoblattina manebachensis, einzelner Flügel eines Geradflüglers. 12. Belinurus reginae, ein dem heutigen Schwertschwanz (Limulus) nahe verwandter Krebs.

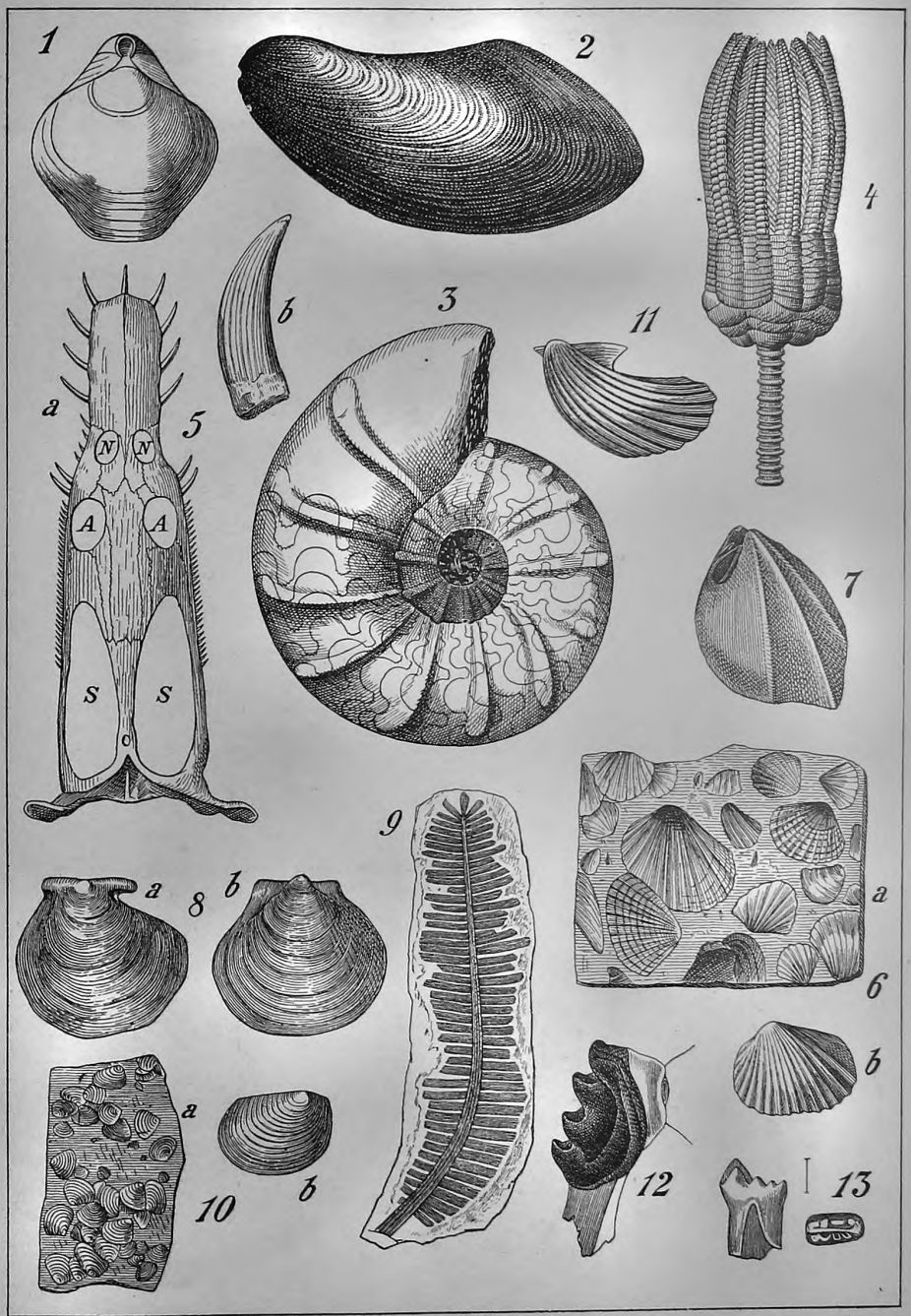
Pflanzen der Steinkohlenzeit.

1. Asterocalamites scrobiculatus, Ausguß (Steinkern) des Markzylinders eines baumförmigen Schachtelhalmartigen Gewächses. Kulm. 2. Asterophyllites equisetiformis, beblätterter Zweig eines Kalamiten. Oberkarbon. 3. Annularia stellata, desgleichen. 4. Sphenophyllum, eine den Schachtelhalmen äußerlich ähnliche Pflanze mit keilförmigen Blättern. Oberkarbon. 5—11. Farnkräuter, sämtlich aus dem Oberkarbon. 5. Sphenopteris obtusiloba. 6. Pecopteris plumosa. 7. Odontopteris subcrenulata. 8. Alethopteris lonchitica. 9. Adiantites oblongifolius. 10. Neuropteris. 11. Mariopteris muricata. 12. Stammrinde mit Blattnarben von Sigillarien (a Favularia, b Rhytidolepis, c Subsigillarte) und Lepidodendron (d). 13. Cordaites (a ganzer Baum, restauriert, b, c Blätter.)



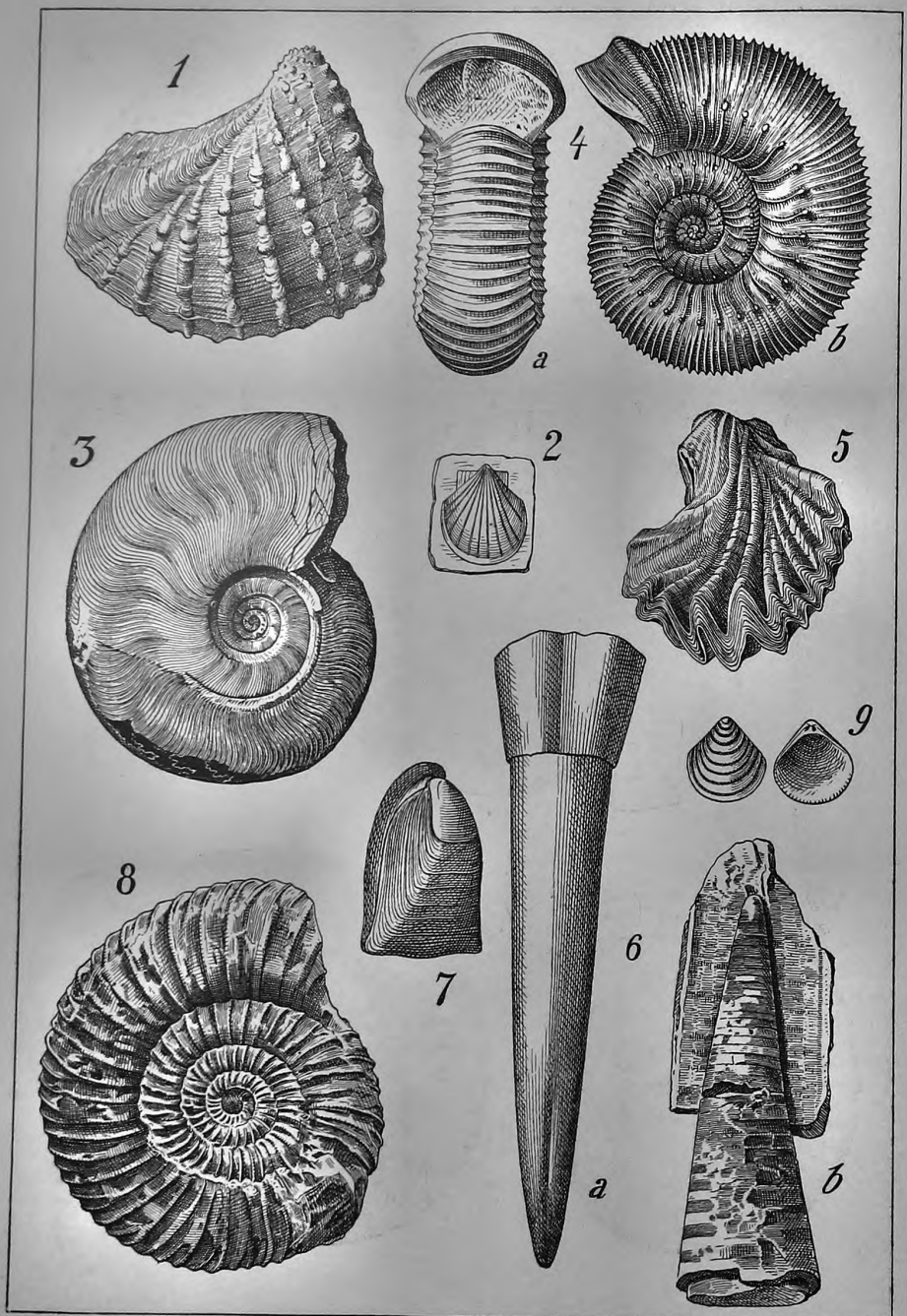
Permische Versteinerungen.

1—3. Brachiopoden aus dem Zechstein. 1. Productus horridus. 2. Strophalosia Goldfussi (a Vorderansicht, b Seitenprofil). 3. Spirifer alatus. 4. Fenestella retiformis, Stock einer Moostoralle (Bryozoe), Zechstein. 5. Schizodus obscurus, Steinkern einer Muschel, Zechstein. 6—8. Ammoniten aus den permischen Fusulinenkalken Siziliens. 6. Medlicottia Trautscholdi. 7. Popanoceras multistriatum (a von der Seite, b von hinten gesehen, c Lobenlinie). 8. Cyclolobus Stachei, desgleichen. 9. Richthofenia Lawrenciana, ein Brachiopode aus dem Permokarbon Ostindiens.



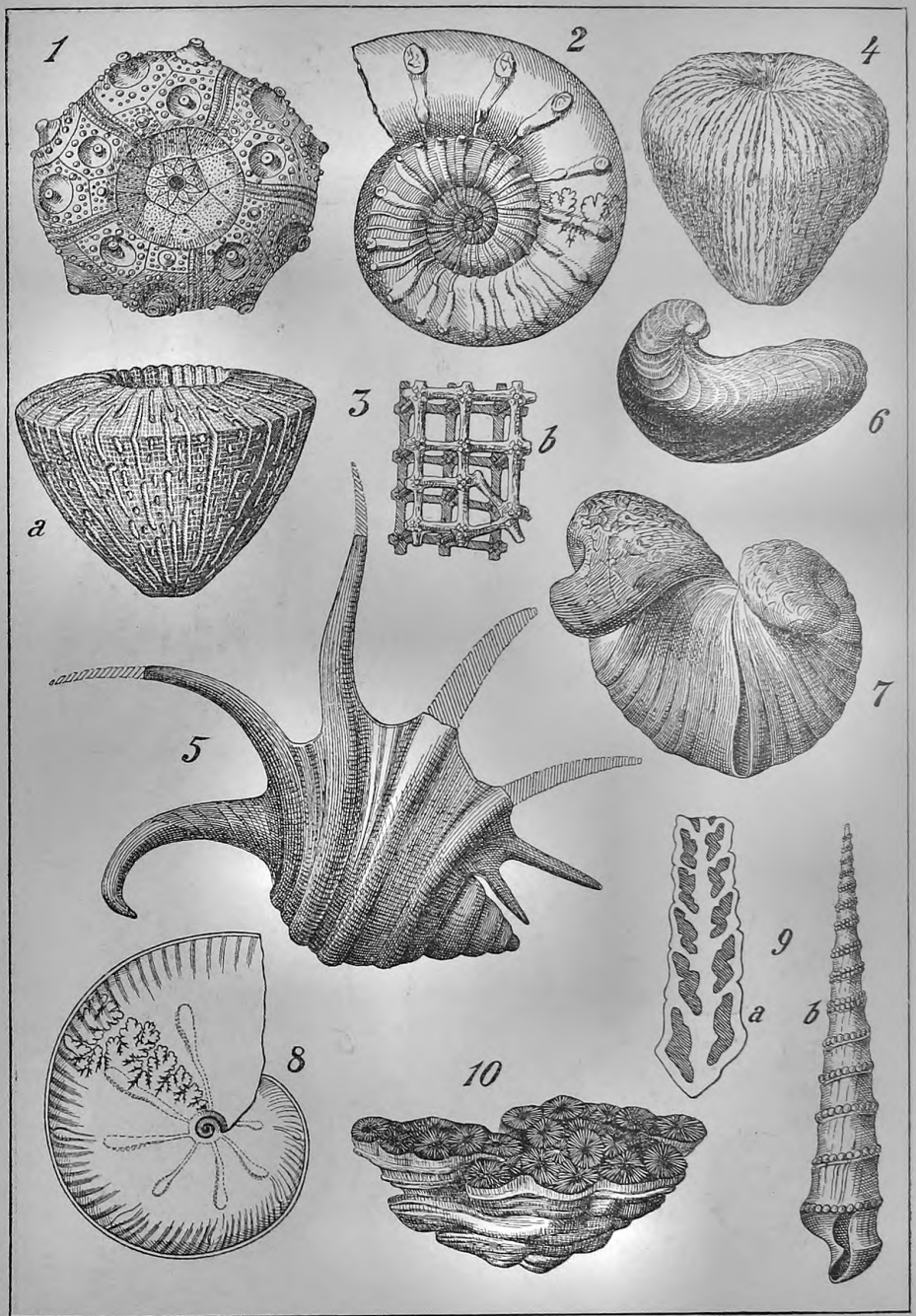
Versteinerungen aus der deutschen Trias.

1. Terebratula vulgaris, ein Brachiopode, Hauptleitfossil des Muschelkalkes. 2. Gervillia socialis, eine Muschel, deren Schalen ganze Schichten des Muschelkalkes aufbauen. 3. Ceratites nodosus, häufigster Ammonit im oberen Muschelkalk. 4. Encrinus liliiformis, eine Seelilie, ebenfalls massenhaft im Muschelkalk. 5. Nothosaurus mirabilis, einer der ältesten Meeressaurier, a Schädel (S Schläfenlöcher, A Augenhöhlen, N Nasenlöcher), b Zahn. Muschelkalk. 6. Myophoria costata, eine Muschel, Hauptleitfossil des oberen Buntsandsteins (Röt). 7. Myophoria vulgaris, Muschelkalk. 8. Pecten laevigatus, Muschelkalk. 9. Pterophyllum Jaegeri, Zweig einer Zykadee aus dem Keuper. 10. Estheria minuta, winziger Schalenkrebs (a natürliche Größe, b vergrößert) Buntsandstein bis Keuper. 11. Avicula contorta, Muschel, Hauptleitfossil des obersten Keupers (Rhät). 12. Zahn von Ceratodus Kaupi, einem amphibischen Lurchfisch, Keuper. 13. Backenzahn von Microlestes antiquus, einem der ältesten Beuteltiere. Oberster Keuper.



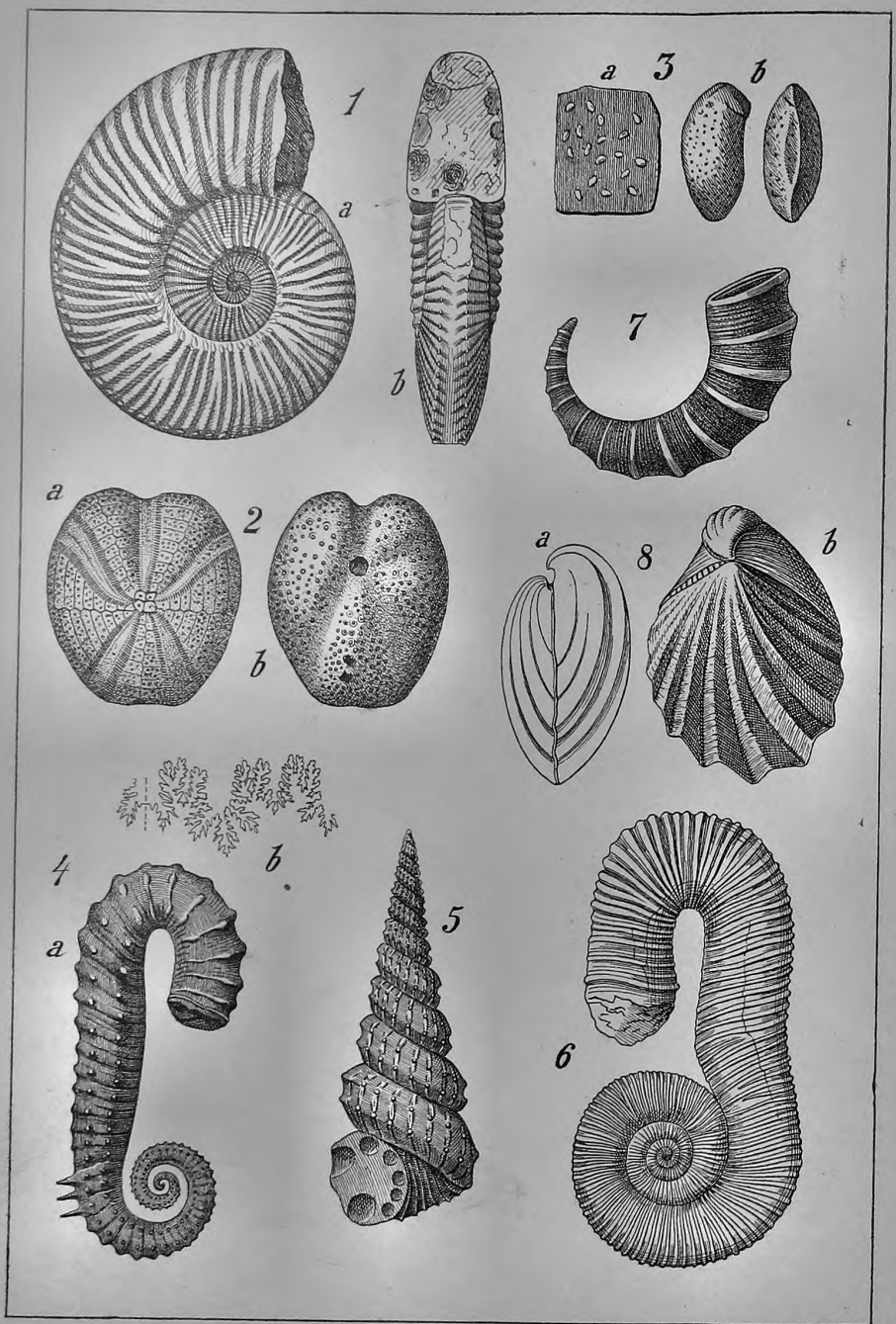
Versteinerungen aus dem schwäbischen Dogger.

1. Trigonia navis, Muschel aus dem unteren Dogger. 2. Pecten personatus, Kammuschel, massenhaft im Sandstein des unteren Doggers. 3. Harpoceras opalinum, Ammonit aus dem unteren Dogger. 4. Stephanoceras Humphriesianus. 5. Ostrea Marshi, Auster aus dem mittleren Dogger. 6. Belemnites giganteus, Riesenbelemnit aus dem mittleren Dogger. 7. Terebratula digona, Brachiopode aus dem oberen Dogger. 8. Parkinsonia Parkinsoni, Ammonit aus dem oberen Dogger. 9. Astarte Voltzi, kleine Muschel aus dem unteren Dogger Lothringens.



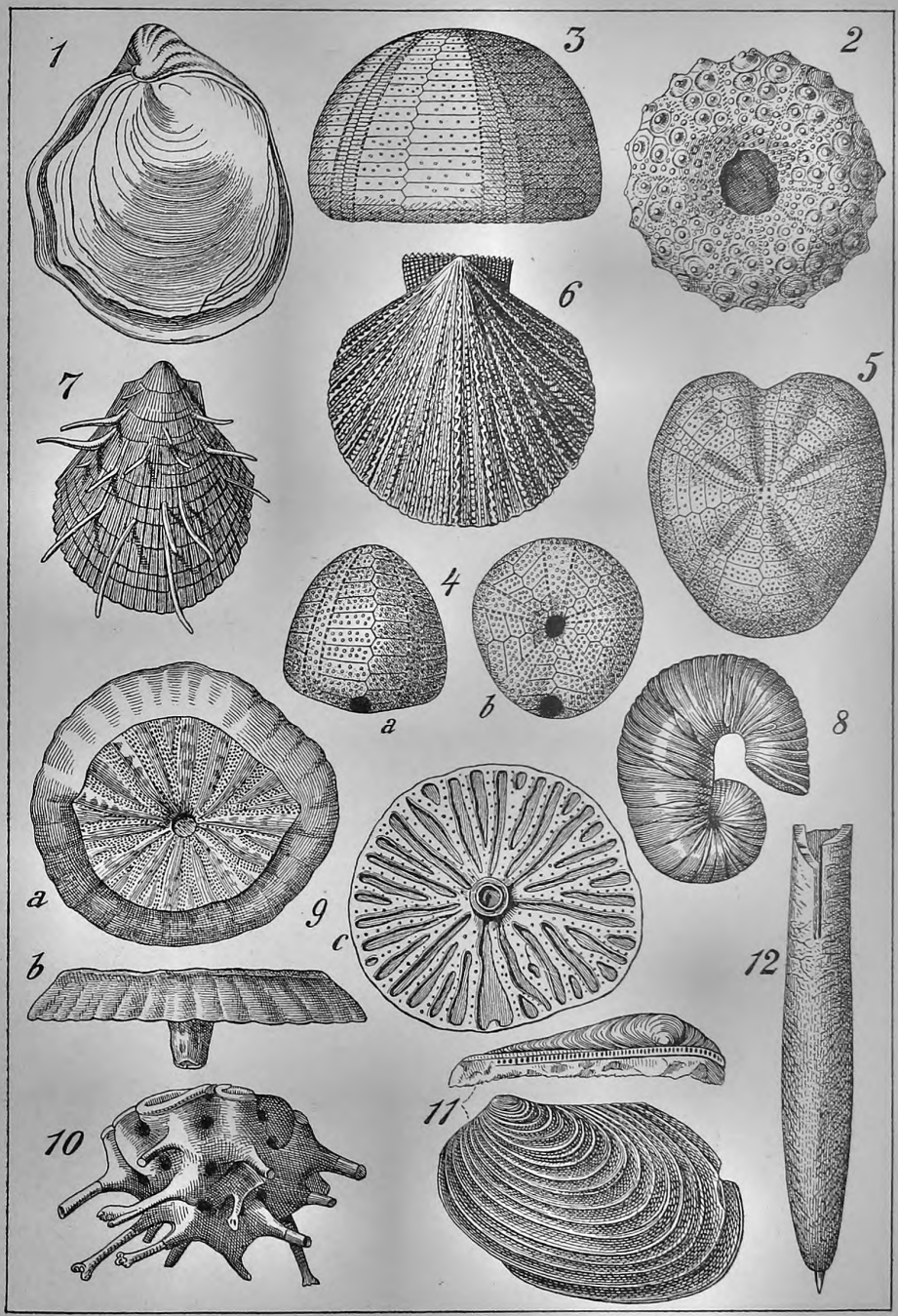
Versteinerungen aus dem oberen Jura.

1. Cidaris coronata, Seeigel. 2. Aspidoceras perarmatum, Ammonit. 3. Pachyteichisma Carteri, Kieselschwamm (a ganzes Exemplar, b ein Teil des inneren Skeletts, stark vergrößert). 4. Cnemidiastrum stellatum, Kieselschwamm. 5. Pteroceras Oceani, eine Flügelschnecke. 6. Exogyra virgula, eine der Auster verwandte Muschel. 7. Diceras arietinum, ungleichklappige Muschel. 8. Oppelia tenuilobata. 9. Nerinea tuberculosa, turmförmige Schnecke (a Längsschnitt, b ganzes Exemplar). 10. Thamnastraea prolifera, Stock einer sechsstrahligen Koralle.



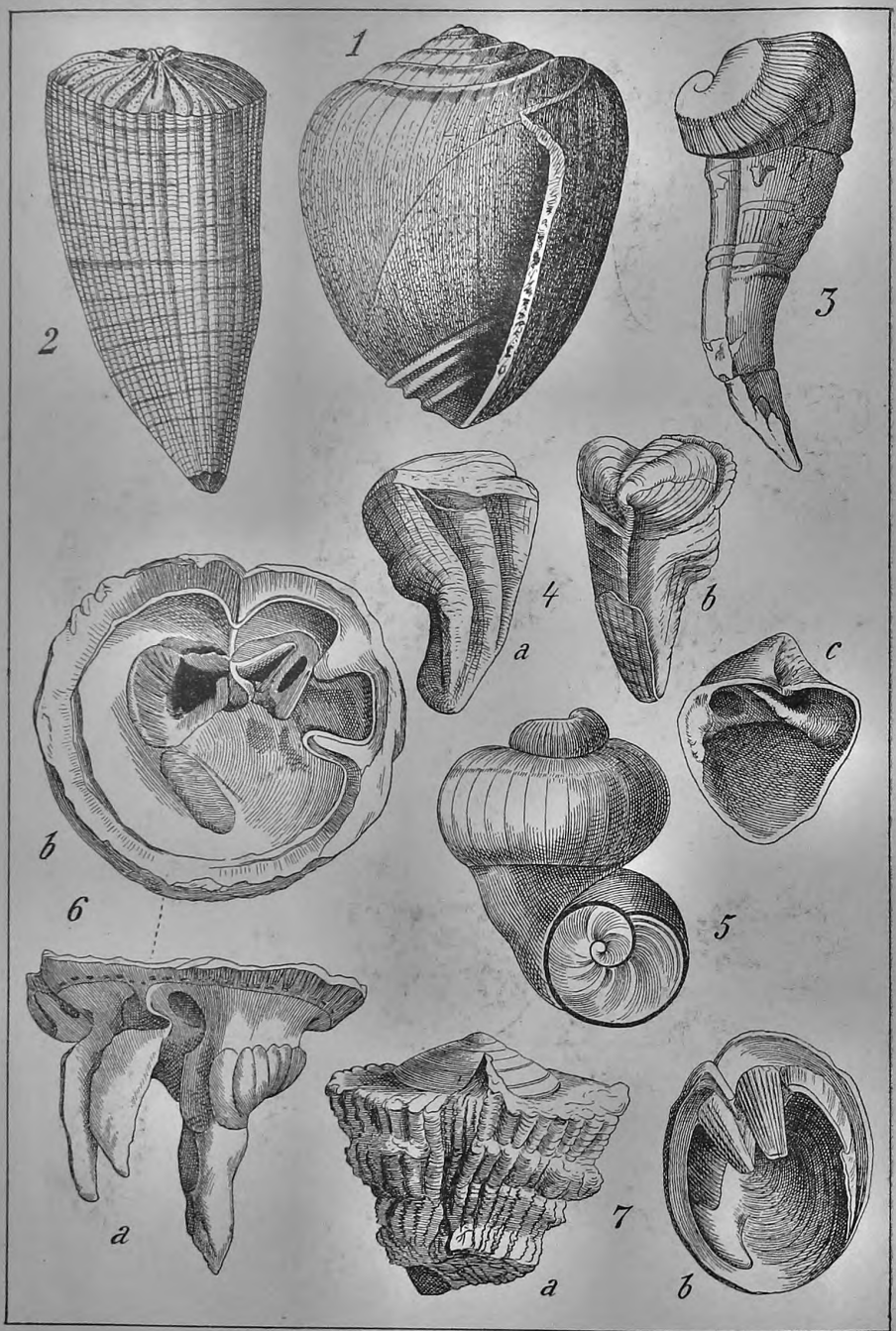
Versteinerungen aus der unteren Kreide.

1. Hoplites noricus, regelmäßig gebauter Ammonit (a Seitenansicht, b Vorderansicht). 2. Toxaster complanatus, herzförmiger Seeigel (a von oben, b von unten gesehen). 3. Cypridea waldensis, winziger Muschelkrebs (a Schieferplatte mit zahlreichen Schälchen, b Schälchen stark vergrößert). 4–7. Ammoniten (sog. Nebenformen mit abweichend gestaltetem Gehäuse). 4. Ancyloceras Matheronianum, Windungen frei, letzter Umgang hakenförmig gebogen (a Seitenansicht, b Lobenlinie). 5. Turrilites catenatus, schneckenförmig. 6. Macroscaphites Ivanii, letzter Umgang abgelöst und hakenförmig gebogen. 7. Toxoceras bituberculatum, bogenförmig. 8. Inoceramus sulcatus, eine Muschel (a Seitenansicht, b Vorderansicht).



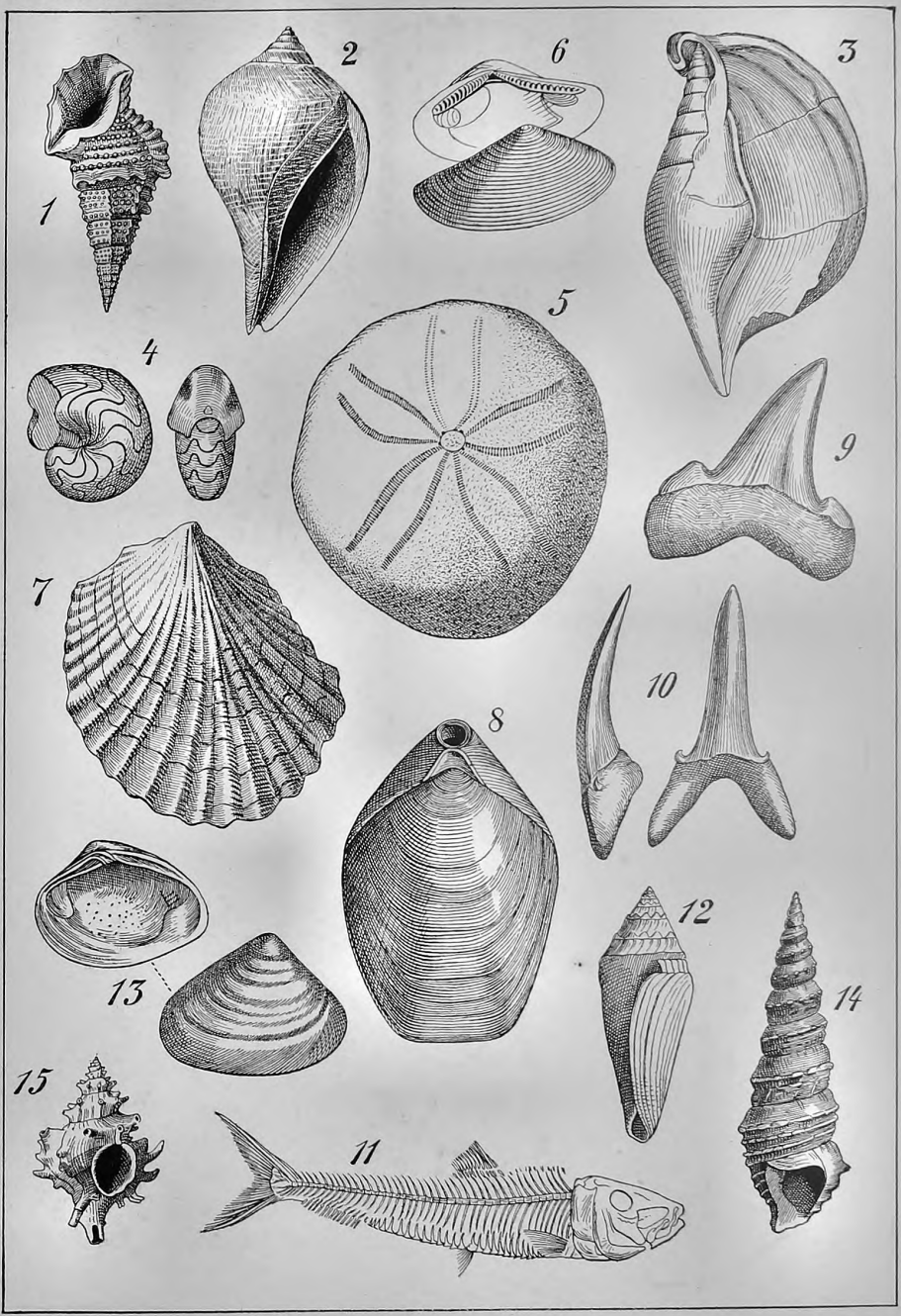
Versteinerungen der oberen nordeuropäischen Kreide.

1. Exogyra columba, eine der Auster nahestehende Muschel. 2–5. Seeigel. 2. Cyphosoma Koenigii, regulär. 3. Discoidea cylindrica, irregulär, halbkugelförmig. 4. Echinoconus albogalerus, irregulär, kegelförmig (a von der Seite, b von unten). 5. Micraster coranguinum, irregulär, herzförmig. 6. Pecten asper, Kamm- oder Pilgermuschel. 7. Spondylus spinosus, Klappmuschel mit langen Stacheln. 8. Scaphites aequalis, Ammonit (sog. Nebenform, vgl. vorige Tafel). 9. Coeloptychium agaricoides, pilzförmiger Kieselschwamm (a von oben, b von der Seite, c von unten). 10. Becksia Soekelandi, Kieselschwamm mit hohlen Stacheln. 11. Inoceramus Cripsi, Muschel (oben der Schloßrand mit zahlreichen Bandgruben). 12. Belemnitella mucronata, Belemnit.



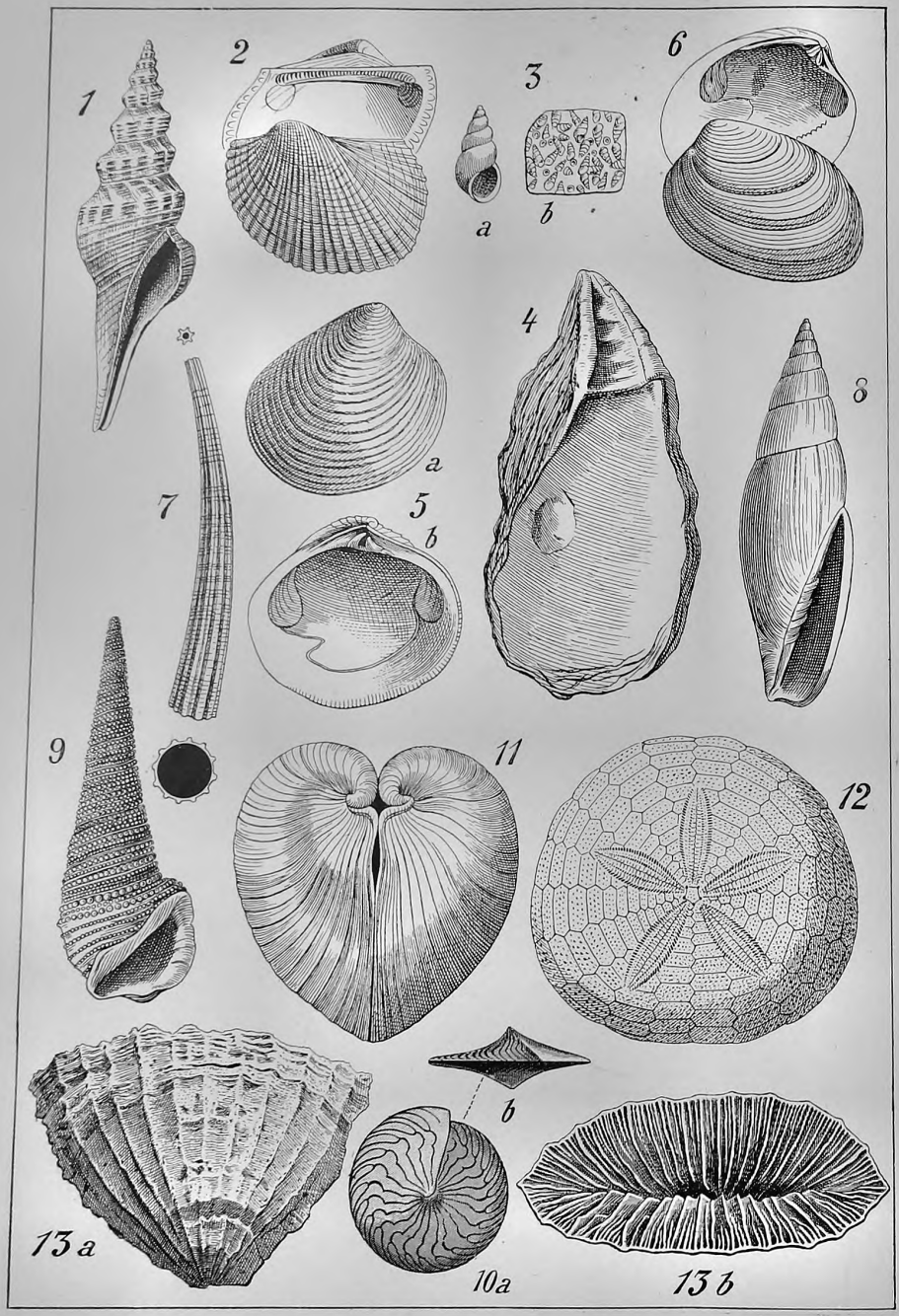
Versteinerungen der südeuropäischen Kreide.

1. Actaeonella gigantea, im Meer lebende Schnecke. 2—7. Muscheln aus der Gruppe der Pachyodonten (vgl. im Text S. 27—28). 2. Hippurites Gosaviensis, die „Pferdemuschel", eine Rudiste. 3. Caprinula Baylei, eine „Ziegenmuschel". 4. Monopleura trilobata (a von vorn, b von hinten, c untere Schale von innen). 5. Requienia ammonia. 6. Hippurites radiosus (a Deckelschale, mit großen Schloßzähnen, b Unterschale von innen und oben, die schwarzen Lücken sind Gruben, in die die Schloßzähne passen). 7. Sphaerulites angeiodes, Rudiste (a vollständiges Exemplar mit Deckel, b Deckelschale von innen).



Versteinerungen des Eozäns und Oligozäns.

1—3. Meerschnecken. 1. Cerithium hexagonum. 2. Fusus bulbiformis, Spindelschnecke. 3. Rostellaria macroptera, 4. Aturia Zickzack, aus der Nautilusfamilie. 5. Echinolampas Kleini, ein irregulärer Seeigel. 6. 7. Muscheln. 6. Leda Deshayesiana. 7. Ostrea ventilabrum, eine Auster. 8. Terebratula grandis, Armfüßer. 9. 10. Zähne von Haifischen. 9. Otodus obliquus. 10. Lamna cuspidata. 11. Meletta sardinoides, heringartiges Fischchen. 12. Conus Parisiensis, Kegelschnecke. 13. Cyrena cuneiformis, Brackwassermuschel. 14. Melania inquinata, Süßwasserschnecke. 15. Typhis tubifer.



Versteinerungen des Miozäns und Pliozäns.

1. Fusus longirostris, Kegelschnecke. 2. Arca diluvii, eine Muschel. 3. Hydrobia (Litorinella) acuta, eine winzige Strandschnecke (a Einzelschale, b Kalk mit zahlreichen Schälchen). 4–6. Muscheln. 4. Ostrea crassissima, eine Auster. 5. Venus cincta. 6. Tapes gregaria. 7. Dentalium sexangulare, ein Grabfüßer. 8–9. Schnecken. 8. Mitra fusiformis. 9. Cerithium margaritaceum. 10. Amphistegina Haueri, eine Foraminifere. 11. Congeria subglobosa. 12. Scutella subrotundata, ein Seeigel. 13. Flabellum Roissyanum, eine sechsstrahlige Einzelkoralle (a von der Seite, b Kelch von oben).

K. K. HOF-MUSEUM