

GRUNDZÜGE DER GEOLOGIE

VON

DR. F. X. SCHAFFER

Hofrat Univ.-Prof. Direktor der Geologisch-Paläontologischen Abteilung
des Naturhistorischen Museums in Wien

Mit 1 Tafel, 1 Karte und 232 Abbildungen
im Text

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE
1928

Verlags-Nr. 3141

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien

Lehrbuch der Geologie

Von Prof. Dr. Franz X. Schaffer

Direktor der geologisch-paläontologischen Abteilung des Naturhistorischen Museums in Wien

I. Teil: **Allgemeine Geologie.** Zweite und dritte erweiterte Auflage

X und 504 Seiten. Mit 1 Tafel in Farbendruck und 481 Abbildungen im Text. 1922

Preis in Halbleinen geb. M 12,60, in Ganzleinen geb. M 14,—

II. Teil: **Grundzüge der historischen Geologie.** (Geschichte der Erde, Formationskunde.) Erste bis dritte Auflage

XII und 628 Seiten. Mit 1 Tafel und 705 Abbildungen im Text. 1924

Preis in Ganzleinen M 20,40

„ . . . Es dürfte kaum ein zweites Lehrbuch der Formationskunde, weder in deutscher noch in einer anderen Sprache geben, das dem Leser eine so reiche Fülle von Stoff in so anregender Form übermittelt.“

Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft, 66. Band

Geologischer Anschauungsunterricht in der Umgebung von Wien

Zweite, veränderte Auflage

Von Prof. Dr. Franz X. Schaffer

VIII und 139 Seiten. Mit 50 Figuren im Text. 1924

Preis geh. M 2,40, kart. M 3,—

„ . . . In drei Exkursionen . . . erteilt Schaffer diesen Elementarunterricht und unterstützt ihn durch 50 Figuren im Text, durch praktische Winke und durch eine übersichtliche Erklärung der Fremdwörter. Das Werkchen füllt eine empfindliche Lücke in unserer naturwissenschaftlichen Bücherei aus und unterstützt das selbsttätige Erarbeiten der geologischen Kenntnisse in ganz hervorragendem Maße.“

Deutschöstr. Lehrerzeitung, 29. Jahrg. Nr. 8

Geologische Geschichte und Bau der Umgebung Wiens

Von Hofrat Prof. Dr. Franz X. Schaffer

Direktor der geologisch-paläontologischen Abteilung des Naturhistorischen Museums

VIII und 112 Seiten auf Kunstdruckpapier

Mit einem Titelbild, einer Karte und 157 Abbildungen im Text. 1927

Preis geh. M 8,—; geb. M 10,—

„ . . . Nun liegt uns eine neue Arbeit dieses unermüdlichen Mannes vor, die uns eine übersichtliche Darstellung vom Baue des Bodens der Stadt Wien und ihrer Umgebung gibt und das Bild, das wir bisher von ihrem Boden hatten, durch Einbeziehung aller neuen Forschungsergebnisse wesentlich verbessert. Wir können sagen, diese Arbeit befriedigt ein dringendes Bedürfnis, denn das steigende Interesse für die Geologie hat in der letzten Zeit mehrere „Werke“ erstehen lassen, die durchaus nicht völlig dem Standpunkt unserer heutigen Kenntnisse entsprechen. Schaffer ist ein verlässlicher Forscher, der mit peinlichster Strenge jede Verzierung der Wissenschaft mit Phantasiegebilden vermeidet. Ihm zu folgen, ist wissenschaftlicher Genuß . . . “

Der Neue Weg, Juni 1928

GRUNDZÜGE DER GEOLOGIE

VON

DR. F. X. SCHAFFER

Hofrat Univ.-Prof. Direktor der Geologisch-Paläontologischen Abteilung
des Naturhistorischen Museums in Wien

Mit 1 Tafel, 1 Karte und 232 Abbildungen
im Text

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE
1928

Alle Rechte, besonders das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten

Copyright 1928 by Franz Deuticke, Leipzig und Wien

Verlags-Nr. 3141

Vorwort

Das Interesse immer weiterer Kreise wendet sich heute von verschiedenen Ausgangspunkten der Geologie zu. Der Wunsch, in das Verständnis der Formen und der diese schaffenden Kräfte der Erdoberfläche einzudringen, sowie die als Grundlage der Zoologie und Botanik immer mehr in den Vordergrund tretende Entwicklungslehre führen zahlreiche Freunde dieser Wissenschaft zu. So hat sich schon längst das Bedürfnis nach einer kurzgehaltenen, aber doch möglichst umfassenden Einführung ergeben.

Der Verlag hat es daher für zweckmäßig befunden, diesen Auszug aus meinem Lehrbuche der Geologie (Bd. I und II, 1922 und 1924) in reich mit Abbildungen ausgestatteter Form erscheinen zu lassen, der durch einen beigefügten Überblick über den geologischen Bau Österreichs ein Heimatbuch werden soll.

Für die während meiner Abwesenheit durchgeführte Lesung der Korrekturen, sowie für die Herstellung der neuen Abbildungen bin ich Fräulein Lotte Adametz zu besonderem Danke verpflichtet.

Reichenau-Payerbach, Pfingsten 1928

F. X. Schaffer

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
A. Allgemeine Geologie. Dynamische Geologie	
I. Die Erde und ihre Kraftquellen	3
Die Erde als Weltkörper	3
Der Werdegang der Erde	8
Gestalt, Größe und Oberfläche der Erde	9
Dichte der Erde.	11
Erdwärme	13
Erdinneres	15
Die Kraftquellen der Erde	15
Magnetismus	18
Radioaktivität und elektrische Erscheinungen	18
Meteoriten	18
II. Die vulkanischen Erscheinungen	21
Die vulkanischen Erscheinungen der Tiefe	21
Die vulkanischen Erscheinungen der Erdoberfläche	26
Typen vulkanischer Ausbruchstätigkeit	31
III. Das Wirken der Kräfte der Erdoberfläche	37
A. Die Verwitterung	37
B. Die Abtragung	45
Tätigkeit des Wassers	46
Das Grundwasser	54
Karstwässer	56
Quellen	57
Das Meer	62
Seen	64
Tätigkeit des Eises	65
Das Inlandeis	70
Die Gletscherlandschaft.	71
Wassereis, Steineis.	72
Höhleneis	72
Tätigkeit der Luft	73
C. Bildung der Absatzgesteine	76
Chemische Absätze (Präzipitatgesteine).	78
Organogene Gesteine (Biolithen)	83
Kohle.	83
Erdgas	86
Bitume	87
Phosphor, Schwefel, Eisen, Kieselsäure.	87
Kalk	88
Sedimente	90
Terrestre Sedimente	91
Fluviale Sedimente	92
Lakustre Sedimente	92
Marine Sedimente	93
Die Fazies	94

	Seite
Die Diagenese	94
Sedimente der Vorzeit	95
Der Fossilisationsprozeß	95
IV. Die Störungen der Erdrinde	100
Die Grundlagen der Tektonik	100
Bewegungen der Strandlinie	101
Störungen der Erdrinde durch Brüche	102
Störungen der Erdrinde durch Faltung	108
Deutung der Störungen der Erdrinde	110
Gehobene Gebirge	112
Erdbeben	115
Erdbebenherd, Bebenwellen, Schüttergebiete, Erdbebenlinien, Seebeben	116
Intensität der Beben, Erdbebenmessung	119
Die Metamorphose	122
B. Historische Geologie, Geschichte der Erde, Formationskunde	125
A. Archaikum	126
B. Euzoische Schichtfolge	127
I. Algonkium	127
II. Paläozoische Formationsgruppe	128
1. Kambrische Formation	133
2. Silurische Formation	134
3. Devonische Formation	138
4. Karbonformation	142
5. Permische Formation	146
III. Mesozoische Formationsgruppe	149
1. Triasformation	155
2. Juraformation	161
3. Kreideformation	165
IV. Känozoische Formationsgruppe	169
1. Tertiärformation	172
2. Quartärformation	184
Der Mensch der Eiszeit	192
Geologischer Bau und Erdgeschichte von Österreich	195
Sachverzeichnis	205

Einleitung

Unter den Naturwissenschaften nimmt die Geologie eine zentrale Stellung ein. Astronomie, Physik und Chemie sind unabhängig von der Erde, sie haben das Weltall als Wirkungssphäre. Sie sind die überirdischen, welterschöpfenden Wissenschaften. Die Geologie¹ lehrt uns die Geschichte und den gegenwärtigen Zustand unseres Planeten und gibt die Nutzenanwendung der Forschung dieser außerirdischen Wissenschaften auf den besonderen Fall. Sie schafft andererseits die Grundlagen, das Arbeitsfeld für die irdischen Naturwissenschaften, Mineralogie, Botanik und Zoologie. Astronomie und Astrophysik² lehren uns die Stellung der Erde im Weltsystem kennen, geben uns Aufschlüsse über ihre erste Entwicklung als selbständiger Himmelskörper, über die außerirdischen Einflüsse, denen sie unterworfen ist, durch Vergleich mit anderen Gliedern des Kosmos (kosmische, vergleichende Geologie).³ Physik und Chemie sind die Grundlagen der Geophysik,⁴ der auf Mathematik gestützten Lehre von den Grundzügen der Natur unseres Planeten, seiner Größe, Gestalt, Dichte, Temperatur, von den Eigenschaften des Wassers, der Luft, den Grundrissen der Oberflächenformen usw. Sie zeigen uns die Kräfte, die der Erde eigen sind (dynamische Geologie)⁵ und beobachten deren Wirken im Versuche (experimentelle Geologie). Auf ihnen beruht die Erkenntnis des Baues der Erdkruste, das Feld der Geotektonik⁶ und die Erklärung der Oberflächenformen (Geomorphologie,⁷ Geomorphogenie⁸), die eine der Grundlagen der geographischen Forschung ist. Die Mineralogie hat die Petrographie,⁹ die Gesteinsbeschreibung, im Dienste der Geologie gezeitigt, die Zoologie, die Botanik

¹ Geologie, ge, griechisch, Erde, logos, gr., Lehre; Erdkunde.

² Astrophysik, aster, gr., Stern, physis, gr., Natur; Lehre von der Natur der Gestirne.

³ Kosmische Geologie, Kosmos, gr., Weltall; Lehre von der Erde als Weltkörper.

⁴ Geophysik; Lehre von der Natur (der Beschaffenheit) des Erdkörpers.

⁵ Dynamische Geologie, dynamis, gr., Kraft; die Lehre von den Kräften der Erde.

⁶ Geotektonik, tektonike, gr., Baukunst; Bau der Erdrinde.

⁷ Geomorphologie, morphe, gr., Gestalt; Lehre von den Oberflächenformen der Erde.

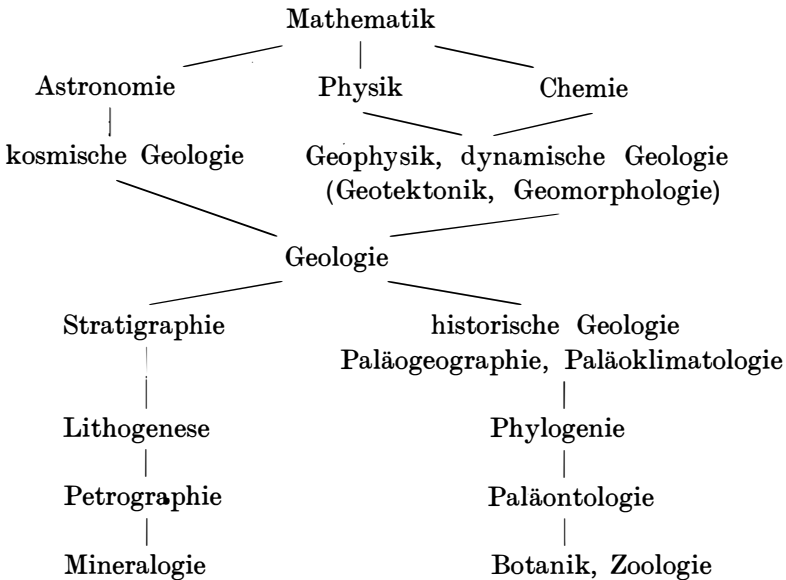
⁸ Geomorphogenie, gignomai, gr., ich entstehe; Lehre von der Entstehung der Oberflächenformen der Erde.

⁹ Petrographie, petros, gr., Stein, graphein, gr., schreiben; Lehre von den Steinen.

und die Biologie sind als Paläontologie¹ und Entwicklungslehre (Phylogenie²) wertvolle Stützen und mit der Erforschung der Bildung der Absatzgesteine (Lithologie³) die Grundlage der Stratigraphie,⁴ der Lehre von den Schichtgesteinen in Hinsicht der darin auftretenden Fossilreste. Auf ihr baut sich die historische Geologie, die Geschichte der Erde und der organischen Welt auf, das Endziel der geologischen Forschung. Aus ihr haben sich die Paläogeographie⁵ und Paläoklimatologie⁶ entwickelt, die uns aus der Betrachtung der heutigen Naturvorgänge und dem Vergleiche mit den überlieferten Zeugen der Vorzeit einen umfassenden Rückblick in die graue Vergangenheit gewähren. Geologie im weitesten Sinne ist also die Lehre vom Aufbaue der Erd feste.

Ihre oberste erzieherische Aufgabe ist die Erklärung der Formen und der Veränderungen unserer Umwelt aus den heute wirkenden Kräften, ein Verstehen der Natur, in die wir gesetzt sind und die so unendlich viele Beziehungen zum Leben jedes einzelnen besitzt.

Eine Übersicht über die Stellung der Geologie und ihrer Forschungsrichtungen zu den Hilfswissenschaften gibt nachstehende Zusammenfassung:



¹ Paläontologie, palaios, gr., alt, on, gr., seiend; die Lehre von den alten Lebewesen, von den Versteinerungen.

² Phylogenie, phylon, gr., Stamm; Stammesgeschichte.

³ Lithologie, lithos, gr., Stein; Lehre von der Beschaffenheit der Gesteine.

⁴ Stratigraphie, stratum, lateinisch, Schicht; Beschreibung der Schichten der Erdrinde.

⁵ Paläogeographie, Beschreibung der Landformen in der Vorzeit der Erde.

⁶ Paläoklimatologie, Lehre von dem Klima der Vorzeit der Erde.

I. Die Erde und ihre Kraftquellen

Die Erde als Weltkörper

Die Geschichte unserer Erde beginnt mit der Ablösung ihrer Masse von der Sonne, die sich damals wohl noch im Zustande eines Nebels

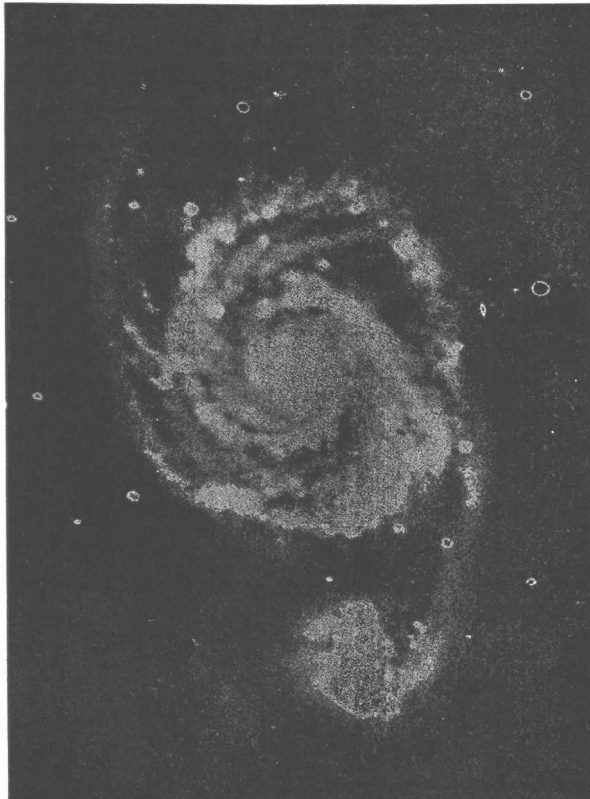


Fig. 1. Der große Spiralnebel, Lick Observatory (nach R. St. Ball)

befand. Diese Nebelflecke scheinen einen Anfangszustand der Himmelskörper darzustellen und zeigen bisweilen durch ihre wirbelartige oder mitunter recht regelmäßig spiralige Gestalt eine heftige Rotationsbewegung an (Fig. 1). Ihr nur aus einzelnen hellen Linien bestehendes

Spektrum weist darauf hin, daß sie leuchtende Gase von zum Teil sehr hoher Temperatur sind.

Durch Verdichtung und abnehmende Temperatur scheinen sich daraus die Weltkörper gebildet zu haben. Diese sind wohl weitaus überwiegend Fixsterne, deren Namen aber nicht besagen darf, daß sie ohne Bewegung im Weltraume sind. Freilich geht diese für unsere Beobachtung langsam vor sich, doch hat man in historischer Zeit Veränderungen in der Gestalt einiger Sternbilder festgestellt.

Man kann mit freiem Auge etwa 5700 Fixsterne zählen. Ihre durch die größten Fernrohre auf photographischem Wege festgestellte Zahl erreicht etwa 60 Millionen. Ihr Licht besitzt eine weißblaue Farbe, wenn ihre Temperatur anscheinend noch weit über 7000° ist. Zu ihnen gehört Sirius, der hellste Stern der nördlichen Himmelshalbkugel, der 150 Billionen Kilometer — 15 Lichtjahre — von der Erde entfernt ist.¹

Bei fortgesetzter Temperaturabnahme gelangen die Sterne bei etwa 7000° Oberflächentemperatur in ein Stadium, in dem sie gelbes Licht aussenden. Zu dieser Gruppe gehört die Sonne, die im Mittel 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt ist und sich mit 20 km Sekundengeschwindigkeit dem Sternbilde des Herkules nähert.

Bei einer Temperatur von etwa 3000 bis 4000° strahlen die Sterne orange-rotes oder rotes Licht aus.

Schließlich verliert der Stern seine Leuchtraft, er tritt in einen planetaren Zustand. Er besitzt eine Erstarrungsrinde, ist im Innern aber noch glühend.

Die Hälfte aller Sterne ist weißleuchtend, $\frac{3}{8}$ ihrer Zahl zeigen gelbes und $\frac{1}{8}$ rotes Licht. Die erloschenen Himmelskörper, die wohl in großer Zahl den Weltraum durchheilen, sind uns unsichtbar. Wir sehen sie, wenn sie das Sonnenlicht reflektieren oder wenn sie sich zwischen Erde und Sonne stellen. Auch ihre anscheinend überaus zahlreichen Trümmer werden wir gewahr, wenn sie, in die Erdatmosphäre gelangend, vorübergehend als Sternschnuppen aufleuchten oder als Meteoriten² zur Erde fallen.

Die Sonne erscheint uns als kreisrunde, überaus helleuchtende Scheibe, deren scheinbare Größe für den Erdbewohner 32' ist, entsprechend einem Durchmesser von 1391000 km. Sie zeigt keine Abplattung, da ihre Umdrehung zu langsam ist. Ihre Masse beträgt das 355000fache der Erdmasse und ihre mittlere Dichte ist 0,274, verglichen mit der Dichte der Erde = 1. Ihre Oberflächentemperatur dürfte etwa 6000° betragen, während die des Innern wohl größer ist.

Die Hauptmasse der Sonne besteht aus einem gelbleuchtenden Kern, der Photosphäre.³ Darüber liegt die Chromosphäre⁴ in der

¹ Unter einem Lichtjahre versteht man den Weg, den das Licht mit seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde in einem Jahre zurücklegt, also etwa 10 Billionen Kilometer.

² Meteoros, gr., in der Luft befindlich.

³ Phos, gr., Licht; sphaira, gr., Kugel, Lichtzone.

⁴ Chroma, gr., Farbe; Zone der Farbe.

Dicke von 7000 bis 11 000 km, eine rötlich leuchtende Gasschicht, die in den tieferen Lagen aus glühenden Gasen der Schwermetalle, in den höheren aus glühendem Wasserstoff, Helium, Kalzium und dem auf der Erde nicht nachgewiesenen Coronium gebildet ist. Aus ihr steigen ungeheure rote Flammen, Protuberanzen, mit einer Geschwindigkeit bis zu 400 km in der Sekunde bis 400 000 km hoch empor. Sie treten bei einer totalen Sonnenfinsternis, wenn der Mond die Sonnenscheibe verdeckt, sehr deutlich hervor (Fig. 3). Sie sind Ausbrüche von glühendem Wasserstoff, Helium und Metalldämpfen.

Die Photosphäre zeigt auf ihrem gekörnten Grunde dunkle Flecke, Sonnenflecke, von sehr unregelmäßiger und veränderlicher

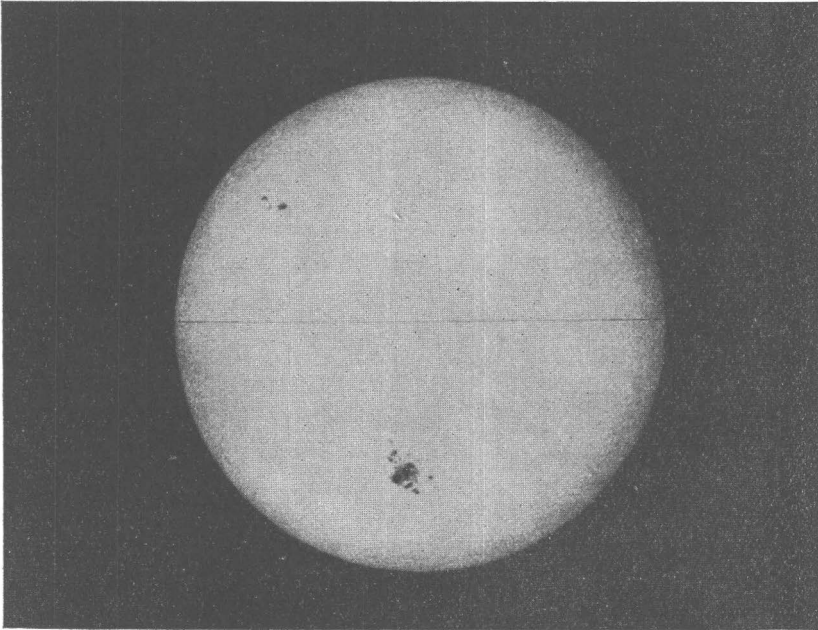


Fig. 2. Die Sonne mit Sonnenflecken. (Nach einer Aufnahme des astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam am 9. Februar 1892)

Gestalt und bis zu etwa 45 000 km Durchmesser (Fig. 2). Sie treten gewöhnlich gruppenweise auf, vereinigen sich und trennen sich wieder. Sie erscheinen vorherrschend um den 30. Grad nördlicher und südlicher heliographischer Breite (Königszonen) und später erst gegen den Äquator. Sie reichen beinahe nie über die 40. Breitengrade polwärts. Aus ihrer Bewegung von Osten nach Westen ergibt sich die Drehung der Sonne um ihre Achse in etwa 25 Tagen. Sie sind vertiefte Stellen, von geringerer Temperatur und von eruptiven Sonnenfackeln umgeben. Ob sie erstarrte Schollen der Photosphäre darstellen, die immer wieder aufgeschmolzen werden oder untersinken, ist fraglich.

Bei totaler Sonnenfinsternis zeigt sich die schwarze Mondscheibe umgeben von einem milden, perlfarbigen, unregelmäßig und unbestimmt umgrenzten Lichtkreise, der *Korona*,¹ die wenige Bogenminuten breit ist. Um sie legt sich die äußere *Korona* mit schwächerem Lichte und sehr unregelmäßiger Begrenzung, deren Strahlenbüschel sich bis auf eine den Sonnendurchmesser erreichende Entfernung ausbreiten.

Die Sonne zeigt ein Absorptionsspektrum und die Fraunhoferschen Linien verraten, welche Gase in der Sonnenatmosphäre vorhanden sind. Weitaus die meisten irdischen Elemente sind schon nachgewiesen. Das Spektrum der *Korona* ist lichtschwach und kontinuierlich, wie es glühende feste Körper in sehr fein verteiltem Zustande aufweisen. Daneben treten leichte glühende Gase wie das *Coronium* mit charakteristischer grüner Spektrumlinie auf. Dieses scheint den interplanetaren Raum zu erfüllen und auch in der obersten Schicht der Atmosphäre der Erde vorhanden zu sein, wo die Polarlichter die gleiche grüne Linie zeigen.

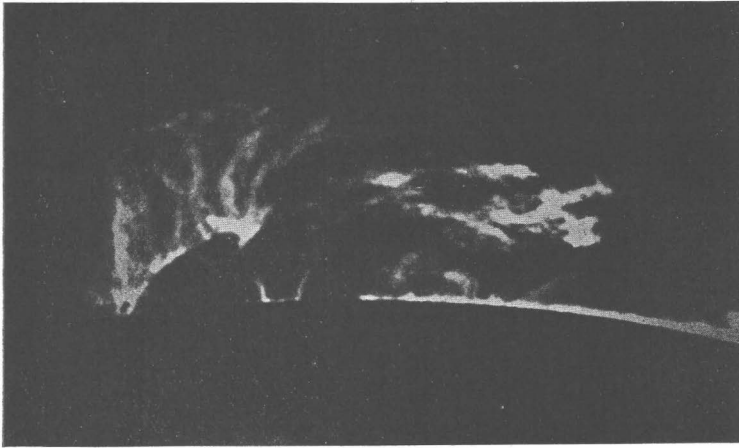


Fig. 3. Sonnenprotuberanzen. 2. Oktober 1907. Yerkes Observatorium

Von der einst ungleich größeren, wohl bis über die äußerste Planetenbahn reichenden glühenden Gasmasse des Sonnensystems haben sich Teile losgelöst, die sich durch Abkühlung und Verdichtung zu den Planeten zusammenballten. Acht Hauptplaneten kreisen in Ellipsen von sehr geringer Exzentrizität um die Sonne, die in dem einen Brennpunkte steht. Die Ebenen ihrer Bahnen sind nur mit einem sehr geringen Winkel gegeneinander geneigt. Diese grundlegenden Beziehungen haben zur Vorstellung von der einheitlichen Entstehung unseres Sonnensystems geführt (Keplers Gesetze, Kants und Laplaces Theorie des Sonnensystems), die durch die mit der Spektralanalyse nachgewiesene chemische Einheitlichkeit der Materie sehr gestützt worden ist. Von der Sonne ausgehend folgen aufeinander: die inneren kleinen Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, dann die Zone der Aster-

¹ Corona, lat., Krone, Kranz.

oiden, sodann die vier äußeren, großen Planeten Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun. Ihre wichtigsten Werte sind:

	Durchmesser gegenüber der Erde	Entfernung von der Sonne	Dichte	Masse	Abplattung	Monde
Merkur	0,37	0,387	1,04	0,04		
Venus	0,97	0,723	0,87	0,81		
Erde	1	1	1	1	1/298	1
Mars	0,53	1,53	0,78	0,11	1/190	
Asteroiden, über 700 kleine Planetoiden in 2,8 Erdfernen						
Jupiter	11,34	5,2	0,23	309,61	1/14	8
Saturn	9,25	9,5	0,13	94,65	1/10	2 Ringe und 10 Monde
Uranus	3,94	19	0,23	14,40	1/15	4
Neptun	4,43	30	0,20	17,65		1

Auffällig ist der Gegensatz zwischen inneren und äußeren Planeten. Diese sind viel größer, haben geringeres spezifisches Gewicht, aber bei weitem größere Masse und sind viel stärker abgeplattet. Über die Beschaffenheit ihrer Oberfläche sind wir nicht unterrichtet.

Mars hat eine Atmosphäre mit Wasserdampf und zeigt gelbrote und blaugraue Flecke. Vorübergehend weist er weitverbreitet eine grüne Farbe (Vegetation?) auf. Ob er bewohnt ist, wird lebhaft erörtert.

Unter den Planetoiden ist Ceres mit 760 km Durchmesser der größte. Sie stellen vielleicht Trümmer eines großen Planeten vor.

Die Ringe des Saturn sind wohl Wolken staubförmiger Teilchen ähnlich dem Zodiakallicht.

Der Erdmond besitzt einen Durchmesser von 3480 km, ein spezifisches Gewicht von etwa 3,4 und eine mittlere Entfernung von der Erde von 380000 km. Er hat die gleiche Umdrehungs- und Umlaufzeit um die Erde von 29 Tagen 13 Stunden und wendet dieser daher stets dieselbe Seite zu. Er besitzt keine Atmosphäre, die aber einmal vorhanden gewesen sein muß, als die heftigen vulkanischen Erscheinungen vor sich gegangen sind, die heute seine Oberflächenformen bedingen. Man erkennt unter diesen weite, dunkle Ebenen, die unter dem mittleren Niveau liegen (sogenannte Meere), Bergketten, Bergkegel, Ringgebirge mit Ebenen im Innern, Krater usw. (Fig. 4). Diese Erhebungen reichen bis 8000 m über die tiefsten Teile und sind steiler als die der Erde. Strahlensysteme, die wohl Sprünge darstellen, folgen größten Kreisen, tiefe Rillen, wohl schluchtartige Täler, verlaufen geradlinig oder unregelmäßig und durchsetzen Bergketten und Krater. Aus dem Polarisationswinkel des Lichtes hat sich ergeben, daß die Oberfläche des Mondes wohl aus glasig vulkanischen Gesteinen ähnlich dem Obsidian oder Vitrophyr (einem glasigen Trachytgestein) besteht.

Man nimmt an, daß sich unser Trabant mit der Erde von der Sonne oder von jener in einem späteren Zeitpunkte losgelöst hat, als die Sonderung der Massen nach dem spezifischen Gewichte erfolgt war. Er würde dann nur aus Massen der leichteren Erdrinde bestehen, die rasch und glasig erstarrt sind. Man hat vermutet, daß das Becken des Stillen Ozeans die Narbe bezeichne, die durch diese Abtrennung entstanden ist.

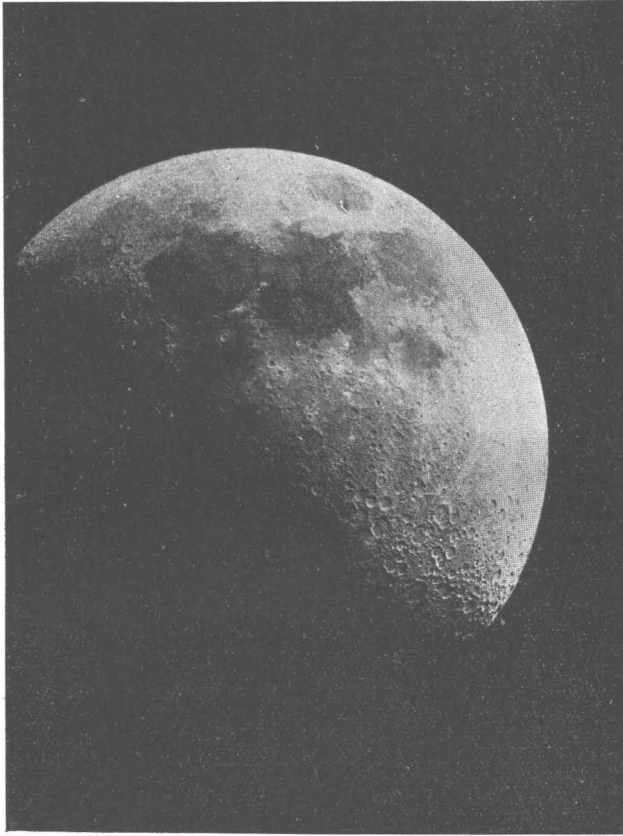


Fig. 4 Der Mond zur Zeit des ersten Viertels. (Nach einer Aufnahme der Lick-Sternwarte)

Der Werdegang der Erde

Auch unsere Erde war ursprünglich ein leuchtender Stern, bis bei fortschreitender Abkühlung die zuerst gasförmigen Elemente Verbindungen eingehen und flüssige und endlich feste Massen bilden konnten. Endlich sank die Temperatur unter den Schmelzpunkt der gesteinsbildenden Minerale (heute an der Oberfläche etwa 1300°). Es bildeten sich Gesteine (Felsarten), das sind Mineralmassen, die einen bedeutenden Anteil am Aufbaue der Erdrinde nehmen. Es entstand die feste

Erdkruste (Lithosphäre¹), die immer noch stellenweise von glutflüssigen Massen (Magma²) des Innern durchbrochen und überflutet wurde. Im Erdinnern ging eine Sonderung der Massen nach dem spezifischen Gewichte vor sich; die schwersten sammelten sich gegen den Mittelpunkt zu.

Die Gase und Dämpfe, die über der Erdrinde lagen, kühlten sich rasch ab, das Wasser schlug sich nieder und bildete die Hydrosphäre³ (Wasserhülle) und darüber entstand die Atmosphäre. Damals trat auch die Scheidung von Festland und Meer ein.

Unser Planet war so lang ohne Leben, bis die Bildung organischer Verbindungen möglich war, das ist bei einer Temperatur unter 100° C. Dann breitete sich das Reich des Lebens über die Erdkruste aus und damit beginnt die historische Periode der Erdgeschichte, in der uns die Entwicklung der Pflanzen- und Tierwelt einen empfindlichen Maßstab für die zeitliche Folge von Ereignissen liefert.

Gestalt, Größe und Oberfläche der Erde

Schon Pythagoras hat die Kugelform der Erde erkannt, die aber erst Magalhães durch seine Weltumsegelung beweisen konnte. Aus der Zunahme der Länge des Sekundenpendels vom Äquator gegen die Pole, aus Gradmessungen am Meridianbogen und mannigfachen Abweichungen von den dafür berechneten Werten ergibt sich die Geoidgestalt.⁴ Dies ist ein einem Rotationsellipsoid mit abgeplatteten Polen ähnlicher Körper, für dessen Gestalt wir keinen einfachen mathematischen Ausdruck finden können, da sie durch die anscheinend nicht gesetzmäßige Verteilung der Massen im Innern bedingt ist.

Der Halbmesser der Erde am Äquator beträgt 6378,2 km, der Polarhalbmesser 6356,5 km, die Abplattung also rechnerisch $\frac{1}{293}$, in Wirklichkeit aber wahrscheinlich $\frac{1}{298}$. Das heißt, der Äquatorhalbmesser ist in diesem Verhältnisse länger als der Polarhalbmesser.

Die Oberfläche der Erde beträgt 510 Millionen Quadratkilometer, von denen 29% (rund 149 Millionen Quadratkilometer) festes Land sind (Fig. 5). Die Maße für die Erhebungen des Landes und die Tiefen des Meeres werden als absolute Höhen und Tiefen (Meereshöhen und -tiefen) bezeichnet, wenn sie auf den Meeresspiegel als Nullpunkt bezogen werden. Relative Höhe heißt die Erhebung eines Punktes über einem willkürlich angenommenen Niveau. Die größte absolute Höhe erreicht die Erdoberfläche im Mount Everest (Himalaja) mit 8840 m, die größte gelotete Tiefe des Ozeans liegt vor dem südlichen ostasiatischen Inselbogen mit 10430 m (Emdentiefe). Diese 18 km

¹ Lithos, gr., Stein; sphaira, gr., Kugel, Gesteinszone, Erdrinde.

² Magma, gr., Gemisch.

³ Hydor, gr., Wasser; sphaira, gr., Kugel, Wassermantel der Erde.

⁴ Eidos, gr., Gestalt, Erdgestalt.

betragenden Höhenunterschiede sind im Vergleiche zu den horizontalen Maßen und dem Durchmesser der Erde kaum wahrnehmbare Runzeln. Sie könnten auf einem Globus von 1 m Halbmesser nur etwa 3 mm hoch dargestellt werden. Daraus ergibt sich, wie wenig die uns so beträchtlich erscheinenden Hochgebirge im Haushalte der Erdmasse von Bedeutung sind.

Die mittlere Höhe des Festlandes ist etwa 850 m. Das heißt, seine über dem Meeresspiegel liegende Masse, auf seine Ausdehnung gleichmäßig verteilt, würde mehr als 800 m hoch über den Meeresspiegel aufragen. Die mittlere Meerestiefe, die sich ergeben würde, wenn man mit der Wassermasse in den Meeresbecken ebenso verfahren könnte, ist etwa 3700 m. Der Unterschied dieser mittleren Werte von 4500 m würde sich auf dem oben erwähnten Globus nur 0,7 mm stark ausprägen.

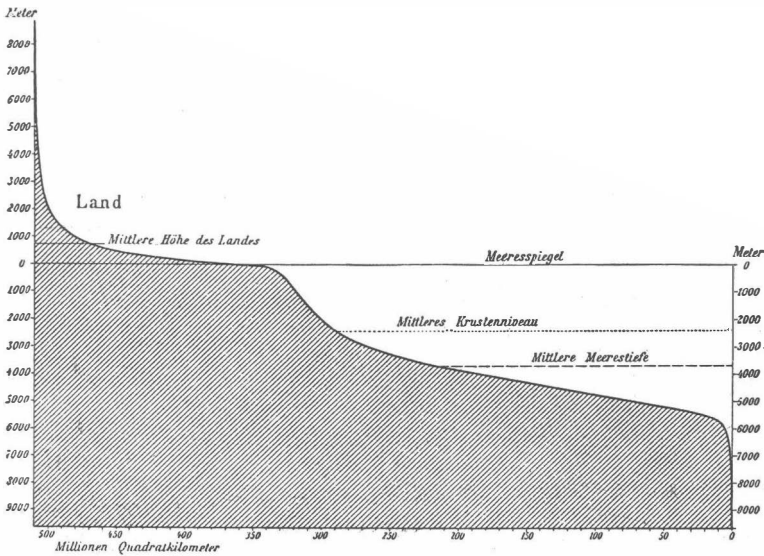


Fig. 5 Hypsographische Kurve der Erdoberfläche (nach O. Krümmel). Verhältnis der Höhe, Oberfläche und Masse des Festlandes zur Tiefe, Oberfläche und Masse des Weltmeeres

Der gesamte Rauminhalt der Meere ist etwa 13 mal größer als der des über dem Meeresspiegel liegenden Festlandes. Von den ozeanischen Tiefen liegen über 50% unter 3000 m. Mehr als die Hälfte der Erdoberfläche ist Tiefsee (Fig. 5).

Wenn wir die Erde ohne Wasserhülle betrachten, sehen wir die Festländer nicht gleich an der Küste zu großen Tiefen abstürzen, sondern sich allmählich in einem wechselnd breiten Saum, dem Schelf, unter das Meeresniveau bis etwa 200 m tief fortsetzen. Hier endet dann die Kontinentaltafel und es folgt ein steiler Absturz, die Kontinentalböschung, in dem sie zur Tiefenregion in etwa 3000 m abfällt. In diese hinein sind dann die größten Meerestiefen eingesenkt.

Dichte der Erde

Durch überaus empfindliche Wägemethoden wurde das spezifische Gewicht der Erde mit 5,56 bestimmt. Da aber die unserer Beobachtung zugänglichen Gesteine der Erde weitaus vorherrschend nur eine Dichte von 2,5 bis 3,3 besitzen, wobei die leichteren noch sehr überwiegen, ergibt sich, daß in größerer Tiefe Massen vorhanden sein müssen, die ein viel größeres spezifisches Gewicht haben (Barysphäre). Nach den neuesten Erfahrungen besteht die Erde bis in etwa 1500 km aus leichten

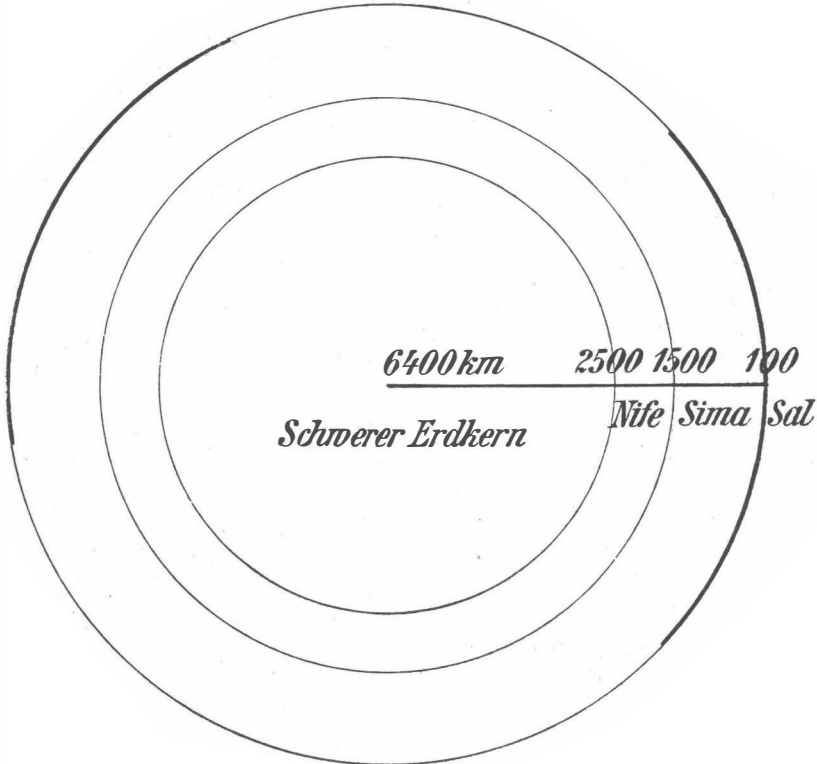


Fig. 6 Schematischer Durchschnitt durch die Erde mit den einzelnen Kugelschalen. Die dickeren Teile des äußersten Kreises stellen die Sialschollen der Kontinente dar.

kieselsäurereichen Gesteinen und zwar in den ersten 100 km vorherrschend aus Granit, Gneis usw., in denen Kieselsäure und Aluminium die Hauptbestandteile sind. Diese Gesteine werden als Sal oder besser Sial (Silizium und Aluminium) bezeichnet und ihr spezifisches Gewicht ist etwa 2,8. Darunter liegen Gesteine, in denen Silizium und Magnesium (Sima) mit einem spezifischen Gewichte von etwa 3,4 vorherrschen, wie Basalt u. a. Dann folgt ein Mantel von Nickeleisen (Nife) mit einem spezifischen Gewichte von zirka 8, der bis 2500 km reicht und schließlich wohl noch schwerere Metalle (Fig. 6).

Aus der verschiedenen Schwingungsdauer des Sekundenpendels hat man erkannt, daß die Massen in der Erdrinde nicht gleichmäßig verteilt sind. Unter Gebirgen ergibt sich ein Massendefekt, als ob eine Gesteinsmasse dort fehlen würde und dies deutet auf eine geringere Dichte der Erdrinde. Unter den großen Ebenen und vor allem unter dem Weltmeere zeigt sich ein Massenüberschuß, dort ist die Dichte größer.

Diese Schwereanomalien werden durch das verschiedene spezifische Gewicht der die Erdrinde zusammensetzenden Schollen erklärt. Wenn wir die Wasserhülle entfernen, unterscheiden wir die hochliegenden Schollen der Kontinente und die tiefliegenden der großen ozeanischen Becken. Die leichteren Sialschollen der Festländer schwimmen wie Eisschollen in einem Gleichgewichtszustande (isostatisch¹) in dem

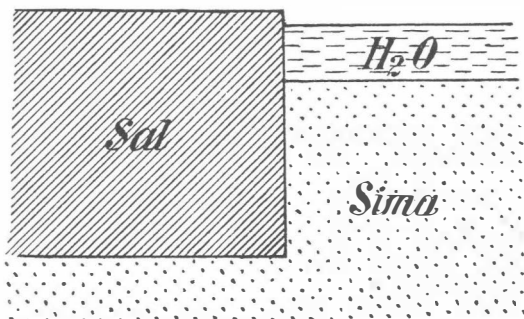


Fig. 7 Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand. Zeigt das Schwimmen der Kontinentalschollen (Sal) auf dem Simamantel und ihr Emporragen über die Meeresfläche.

schwereren Simamantel, dessen erstarrte Schollen die Böden der großen ozeanischen Becken bilden (Fig. 7). Infolge großen Druckes und hoher Temperatur ist in einer Tiefe, die mindestens 25 km, vielleicht aber 120 km beträgt, die Masse der Erdrinde plastisch. Sie verhält sich starr gegenüber rasch vorübergehenden Druckwirkungen, wie Erdbebenwellen, Gezeiten, gibt aber langandauernden nach, wie z. B. der Rotation, die die Abplattung bewirkt oder dem isostatischen Ausgleich bei Verschiebungen der Erdschollen.

Der Gegensatz der Sialschollen gegenüber dem Simamantel hat sich wohl schon bei der ersten Sonderung der glutflüssigen Masse der Erde, des Magmas, ergeben. Soweit wir in der Erdgeschichte sicher zurückblicken können, haben die Kerne der heutigen Festländer (Epeirogene²) und die Böden der großen Meeresbecken (Pelagogene³) schon eine ähnliche Verteilung besessen wie heute (Titelbild).

¹ Isostasios, gr., gleichstehend, Isostasie Gleichgewicht.

² Epeiros, gr., Festland, gignomai, gr., ich werde; die Entstehung der Kontinente betreffend, Kontinent.

³ Pelagos, gr., Meer; Entstehung der Meere betreffend, Meeresboden.

Die alten Festlandsmassen sind Kanada mit Grönland, Finnland mit dem östlichen Schweden und einem Teile der russischen Platte, ein Teil Sibiriens und Chinas, Ostchina, Brasilien, Afrika südlich vom Atlas mit Arabien und Dekhan, der größte Teil Australiens und des antarktischen Kontinents. Sie sind immer Festland gewesen und nur vorübergehend seicht überflutet worden. Ebenso beständig war das pazifische Becken bis an die westlichen Inselbögen, der größte Teil des Atlantischen und des Indischen Ozeans.

Man hat früher angenommen, daß die Kontinente durch große Landmassen verbunden gewesen sind, die den Austausch der Faunen und Floren ermöglicht hätten. Heute wissen wir, daß dieser auf anderen Wegen erfolgen konnte. Es ist eine Permanenz der Großformen der Erdoberfläche wenigstens in den genannten Grundzügen erwiesen. Aus Gründen des Gleichgewichtszustandes der Schollen der Erdrinde ist es unmöglich, daß schwere Rindenstücke, die heute die Böden der Tiefsee bilden, sich einst in gleicher Höhenlage wie die leichten Kontinental-schollen befanden oder daß diese einst soviel näher gegen den Erdmittelpunkt gelegen haben.

Die Beweglichkeit dieser starren Schollen ist durch schmale bewegliche Zonen gegeben, die zwischen ihnen liegen und wohl schon in den ältesten Zeiten durch Brüche vorgezeichnet waren und Stellen bezeichnen, wo der Wechsel des Materials Schwächezonen geschaffen hat. Sie sind die Scharniere der Erd feste und werden als Geosynklinalen¹⁾ bezeichnet. Wie später gezeigt werden wird, sind diese Zonen, wenn sie in Senkung begriffen sind, die Sammelbecken für die Abtragungsprodukte des Festlandes und aus ihnen erheben sich die Faltengebirge. Sie werden deswegen auch Orogene²⁾ genannt und sie haben vorübergehende Verbindungen („Landbrücken“) zwischen den Kontinenten hergestellt.

Die Erdwärme

Die Atmosphäre besitzt keine Eigentemperatur, sondern empfängt sie fast ausschließlich durch Absorption der Sonnenstrahlen. Auch die Erdoberfläche verdankt der Sonne ihre heutige Wärme, die allein sie befähigt, der Wohnort von Lebewesen zu sein und ohne die sie die Temperatur des Weltraumes aufweisen würde.

Die auf ihre Flächeneinheit fallende Sonnenwärme hängt bei sonst gleichen Bedingungen von dem Winkel ab, unter dem die Wärme strahlen auffallen. Dadurch sind die klimatischen Zonen und auch der Wechsel der Jahreszeiten bedingt, die von großer Bedeutung für geologische Vorgänge und für den Lebensprozeß von Tieren und Pflanzen sind. Die durch den Wechsel von Tag und Nacht, Sommer und Winter verursachten Schwankungen der Temperatur machen sich nur in die oberflächlichen Erdschichten hinein bemerkbar. In einer 1 bis 1½ m betragenden Tiefe verschwinden schon die täglichen Schwankungen in unserem Klima und in etwas über 20 m auch die jährlichen (unver-

¹⁾ Syn, gr., zusammen, klinein, gr., neigen; Tiefenlinien der Erde.

²⁾ Oros, gr., Berg; Zonen der Gebirgsbildung.

änderliche Schicht). Diese liegt dort tiefer, wo große Temperaturschwankungen herrschen. In hohen Breiten, wo das Jahresmittel unter 0° liegt, ist der Boden wohl bis in eine Tiefe von 200 m gefroren und taut im Sommer nur oberflächlich auf.

Von der unveränderlichen Schicht ab nimmt die Wärme mit der Tiefe zu. Dies läßt sich bei Tiefbohrungen und in Tunnels und Bergwerken beobachten und wird durch die oft kochend hervorbrechenden heißen Quellen und die bei vulkanischen Ausbrüchen zutage tretende über 1000° messende Gesteinsschmelze (Lava) und heiße Gase offenkundig. Die Tiefe, bei der die Temperatur um 1° C steigt, heißt geothermische¹ Tiefenstufe.

Sie schwankt in weiten Grenzen zwischen 5 m und 115 m und beträgt im Durchschnitte 33 m. Die tiefste Bohrung in Europa ist bei Czuchow in Oberschlesien durchgeführt worden, wo in 2240 m eine Temperatur von $83,4^{\circ}$ herrschte und die Tiefenstufe 31,8 m betrug. Heiße Wässer, chemische Prozesse, bei denen Wärme erzeugt wird, wie Oxydation der Schwefelmetalle, der Inkohlungsprozeß in Kohlenflözen und mechanisch erzeugte Wärme bei Bewegungen im Gestein verändern die Tiefenstufe örtlich weitgehend.

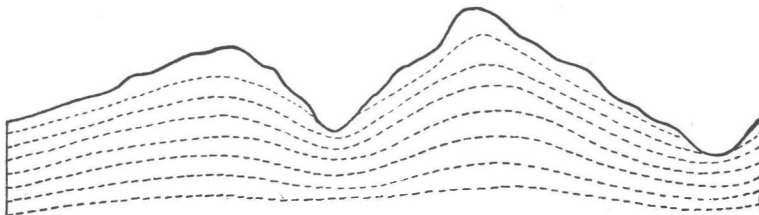


Fig. 8 Verlauf der Geoisothermen (gestrichelt), beeinflusst durch das Relief der Erdoberfläche

Beim Baue der großen Alpentunnels stieg die Temperatur mit der Überlagerung. Gotthardtunnel: fast 15 km lang, Überlagerung 1752 m, Temperatur $30,4^{\circ}$, Tiefenstufe 47 m. Arlberg: über 10 km lang, Überlagerung 715 m, Temperatur $18,5^{\circ}$. Simplon: fast 20 km lang, Überlagerung 2135 m, Temperatur $55,4^{\circ}$, Tiefenstufe 37 m. Tauerntunnel: $8\frac{1}{2}$ km lang, Überlagerung 1325 m, Temperatur $23,9^{\circ}$, Tiefenstufe 37 m.

Die Linien gleicher Erdtemperatur heißen Geoisothermen² und folgen im allgemeinen dem Verlaufe des Oberflächenreliefs. Sie liegen unter Erhebungen weiter auseinander, unter Tälern und besonders unter ausgedehnten Seen und dem Meere enger zusammengedrängt. In größerer Tiefe sind die Flächen gleicher Erdwärme wohl kugelschalenartig angeordnet (Fig. 8).

Die tiefste Bohrung stellt nur etwa $\frac{1}{3000}$ des Erdhalbmessers vor und wir vermuten nur, daß die Tiefenstufe gegen das Erdinnere zunimmt. In etwa 66 km Tiefe dürfte eine Temperatur von etwa 2000° herrschen, bei der nach unseren Erfahrungen wohl alle uns bekannten Gesteine geschmolzen sein müßten.

¹ Ge, gr., Erde, thermos, gr., warm; die Erdwärme betreffend.

² Ge, gr., Erde, iso, gr., gleich, Linien gleicher Erdwärme.

Erdinneres

Wir wissen, daß die Temperatur gegen das Erdinnere zunimmt und daß in schalenförmiger Anordnung Massen von größerem spezifischen Gewichte aufeinander folgen. Wir können uns keine Vorstellung von den Aggregatzuständen machen, die bei der hohen Temperatur und dem großen Drucke herrschen. Die Bezeichnungen fest, flüssig und gasförmig, die wir auf der Erdoberfläche anwenden, sind dort wohl gar nicht am Platze. Es ist die Temperatur des Erdinnern auf 4000 bis 8000^o und der Druck auf 1 bis 3 Millionen Atmosphären geschätzt worden, woraus sich die Möglichkeit eines festen Erdkernes ergibt.

Aus dem Verlaufe der Erdbebenwellen im Erdkörper hat sich ergeben, daß das Erdinnere fest sein dürfte. Es scheint darnach eine 100 bis 200 km starke, starre Kruste zu bestehen, unter der eine bis 1400 km dicke Magmaschicht folgt und darunter liegt endlich der schwere und starre Metallkern.

Der Erdkörper besitzt eine große Starrheit (Rieghheit), ähnlich dem Stahle, ist daher elastisch und zeigt eine Nachgiebigkeit gegenüber der Anziehung des Mondes und der Sonne (Erdzeiten).

Die Kraftquellen der Erde

Um geologische Vorgänge zu verstehen, ist es notwendig, die Kräfte zu kennen, die dabei im Spiele sind. Die Erde brachte einen Schatz von Kraftquellen mit sich, als sie als Individuum ihre Laufbahn begann. Der Materie ist die Schwerkraft eigen, die sich in den Weltraum als Anziehung äußert. Die Erde birgt in ihrem Innern Wärme aus der Zeit, als sie noch mit der Sonne vereint gewesen ist. Sie kreist um diese und gleichzeitig dreht sie sich um ihre eigene Achse nach Gesetzen, die ihr auch ihre Stellung im Weltall zugeteilt haben. Sie ist der Anziehung der übrigen Himmelskörper, vor allem des Mondes und der Sonne ausgesetzt. Die Kälte des Weltraumes entzieht ihr wohl auch heute noch Wärme, aber dafür empfängt sie Wärme durch die Sonnenstrahlung.

Schwerkraft, Eigenwärme, Rotation und Revolution (die Bewegung um die Sonne) sind die Kräftequellen, die der Erde eigen sind. Die Anziehung von Mond und Sonne, die Wärme und Lichtstrahlen der Himmelskörper, vor allem der Sonne und die Kälte des Weltraumes beeinflussen sie von außen.

Diese Kräfte wirken auf die Erde seit ihrer Bildung. Die Rotation bewirkt die Abplattung des Geoids, die früher bedeutender war, als die Umdrehungsgeschwindigkeit der jungen Erde größer, der Tag kürzer war. Anfänglich betrug dieser nur wenige Stunden. Die Rotation ist auch Ursache der Gezeiten, Ebbe und Flut, da sie stets andere Teile der Oberfläche dem Monde und der Sonne zukehrt. Gezeiten finden auch im festen Erdkörper statt und äußern sich in geringen Massenverschiebungen. Sie können mit dem Horizontalpendel nachgewiesen

werden und bewirken Lotabweichungen. Die Gezeiten rufen Reibungen hervor und damit eine Verlangsamung der Rotation (Gezeitenbremsung). Dabei nimmt die Abplattung ab, die Erde sucht sich der idealen Kugelgestalt zu nähern und es erfolgen Krustenbewegungen, die von Bedeutung für die Umbildung der Oberfläche sind. Die Rotation hat den Wechsel von Tag und Nacht und damit der Sonnenbestrahlung und der Temperatur zur Folge.

Infolge der Rotation werden alle sich auf der Erdoberfläche nicht parallel mit dem Äquator bewegend Körper von ihrer Bahn abgelenkt und zwar auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links.

Die Revolution bewirkt infolge der Schiefe der Erdachse zur Ebene ihrer Bahn (Ekliptik) den Wechsel der Jahreszeiten, von Sommer und Winter.

Die untergeordneten langsamen Schwankungen der Erdachse (Nutation, Präzession und Polschwankungen) sind wohl zu unbedeutend, als daß ihre Wirkungen festgestellt werden könnten. Auch Veränderungen der Erdbahn, die wohl auf eine Vereinigung mit dem Zentralkörper hinzielen, können wir in ihren Folgen nicht beobachten.

Die Erde hat nur einmal an Masse verloren, als sich der Mond von ihr löste, denn keine irdische Kraft vermag einem Körper eine Anfangsgeschwindigkeit von 11 km in der Sekunde zu erteilen, die erforderlich ist, um ihn aus dem Anziehungsbereich der Erde zu schleudern. Die Schwerkraft äußert sich als Anziehung in den Weltraum. Sie hält den Mond in seiner Bahn und zieht die in ihren Bereich kommenden Meteoriten an. Dieser Zuwachs kosmischer Körper ist die einzige Vermehrung der Masse der Erde und dadurch freilich unmeßbar klein auch der Schwerkraft.

Die Schwere löst selbständige Bewegungen loser Gesteinsmassen aus (Bergstürze, Terrainrutschungen) und sie bewirkt das Streben des Wassers nach der Tiefe. Infolge der Schwerkraft häufen sich alle in beweglichen Medien, z. B. in der Luft oder im Wasser schwebenden Massenteilchen in Flächen senkrecht zu deren Richtung, also in horizontalen Lagen (Schichtung). Sie bewirkt die Bewegung ganzer Erdschollen, um ein gestörtes Gleichgewicht wieder herzustellen.

Alle Massen auf der Erdoberfläche üben eine Anziehung auf die benachbarte bewegliche Wasserhülle aus.

Die Schwerkraft wirkt beständig und in der praktischen Anwendung gleichmäßig, solange die Erde bestehen wird.

Die Anziehung von Mond und Sonne verursacht kleinere Veränderungen der Erdbewegung (Nutation, Präzession vielleicht auch Polschwankungen) und die Gezeiten und damit die Gezeitenbremsung. Da sich die Erde wohl der Sonne nähert und ihren Trabanten anzieht, dürfte die Anziehung wachsen. Durch die Verlangsamung der Rotation werden aber die Gezeiten langsamer und ihre bremsende Wirkung schwächer. Dadurch tritt wohl ein teilweiser Ausgleich ein.

Die Wärmestrahlen der Sonne sind die größte Kraftquelle auf der Erdoberfläche. Sie ist theoretisch nicht beständig, da sich unser Zentralgestirn abkühlt. Dieser Annahme steht die neuere Ansicht

gegenüber, nach der seine Temperatur durch Kontraktion oder radioaktive Vorgänge wächst oder gleich bleibt.

Die Sonne bewirkt Erwärmung der Erdoberfläche, sie erhält den Kreislauf des Wassers, den größten unversiegbaren Schatz verwertbarer Energie (weiße Kohle) und dadurch die meisten chemischen Vorgänge, die Strömungen der Luft und des Meeres. Ihr Licht ermöglicht die chemischen Prozesse des organischen Lebens, das eine so mannigfaltige Einwirkung auf die Erdoberfläche in Abtragung und Auflagerung hat.

Daß sich die Erde in einem Altersstadium befindet, zeigt der geringe Rest von Eigenwärme, die auf der Oberfläche keinen anderen in geologischen Erscheinungen sich auswirkenden Einfluß hat wie die vulkanischen Eruptionen und die thermale Tätigkeit. Wir kennen die Zunahme der Erdtemperatur nach dem Erdinnern. In der Erdkruste gehen unter ihrem Einflusse Veränderungen der Gesteine in größtem Umfange vor sich. Eine Folge der Verringerung der Erdwärme ist die Kontraktion, durch die Spannungen und Störungen der Erdrinde entstehen. Durch solche Massenverschiebungen kann das Gleichgewicht des ganzen Erdballes gestört und vielleicht eine Änderung der Lage der Erdachse in ihm bewirkt werden. Durch die Zusammenziehung und auch durch den Zerfall des Radiums wird aber wieder Wärme erzeugt und der Verlust teilweise ersetzt.

Durch diese Kräfte wird die gasförmige, flüssige und feste Materie auf der Erdoberfläche in Bewegung gesetzt. Die Eigenwärme, die Rotation, die kosmische Wärme (der Sonne) und die Anziehung durch Mond und Sonne streben sie nach außen zu drängen, womöglich von der Erde loszureißen. Sie wirken zentrifugal. Die Schwerkraft allein wirkt ihnen entgegen. Sie fesselt die Materie stets wieder an die Erde.

Die Kräfte des Erdinnern trachten das Relief der Erde zu verschärfen, die Rotation durch Fliehkraft, Abplattung, Verschiebung von Krustenteilen, die Erdwärme durch Eruptionen, Störungen der Erdrinde durch Hebungen und die Kontraktion.

Die von außen angreifenden Kräfte wirken ausgleichend, sie trachten der Erde die ideale Kugelgestalt zu geben, wie die kosmische Anziehung durch Gezeitenbremsung, die Sonnenwärme durch den Kreislauf des Wassers, die Bewegungen von Luft und Wasser und die damit in Zusammenhang stehende Abtragung und Aufschüttung.

Alle diese Kräfte haben sich im Laufe der Erdgeschichte in ihren Wirkungen verändert. Wir kennen aber nicht deren Maße. Sie wirken bisweilen einander entgegen und heben einander zum Teil oder gänzlich auf, oder sie wirken in gleichem Sinne miteinander und rufen die größten Veränderungen hervor. Man nennt dies Katastrophen in vernichtendem Sinne, Anastropfen¹ als lebhaftere Weiterentwicklung.

Nie herrscht Ruhe auf der Erde und selbst den geringsten Kraftäußerungen, die unserer Beobachtung gänzlich entgehen, kommt infolge der überaus langen Zeit, durch die sie wirken, schließlich große Bedeutung zu.

¹ Anastrophe, gr., Umgestaltung.

Die dynamische¹ Erdkunde befaßt sich mit der Untersuchung des Wirkens der auf der Erde tätigen Kräfte. Die dynamische Geologie verfolgt deren Wirkungen und sucht aus diesen die Art der Kräfte zu erforschen, die am Werke gewesen sind.

Magnetismus

Eine Magnetnadel zeigt eine nach dem Orte verschiedene Abweichung von der Nordsüdlinie, die magnetische Deklination,² die nach den magnetischen Polen weist, die von den Erdpolen verschieden sind. Eine frei hängende Nadel zeigt eine Neigung gegen die Horizontale, Inklination,³ die mit der Breitenlage zunimmt und am magnetischen Pol 90° beträgt. Beide Beträge schwanken mit der Stärke (Intensität) in täglichen, jährlichen und noch größeren Perioden und sind vom Bodenrelief und der Zusammensetzung des Untergrundes abhängig.

Die Ursache des Erdmagnetismus scheint in der Sonne und dem Monde zu liegen und Störungen, magnetische Gewitter, sind von den Sonnenflecken abhängig.

Der Erdkörper ist polarmagnetisch. Viele Gesteine sind einfach magnetisch und wirken auf beide Pole der Magnetnadel gleich anziehend oder abstoßend; andere sind polarmagnetisch. Die meisten eisenhaltigen vulkanischen Gesteine, z. B. Laven, sind magnetisch. Große magnetische Massen im Untergrunde, besonders Magnetit und Magnetkies, können durch empfindliche Magnetnadeln (Magnetometer) nachgewiesen werden.

Radioaktivität und elektrische Erscheinungen

Fast alle Gesteine der Erdoberfläche enthalten in verschiedener und freilich sehr geringer Menge Radium, das sich nur bis in eine Tiefe von etwa 300 km finden und im Innern der Erde fehlen soll. Durch den Zerfall radioaktiver Stoffe soll Wärmezunahme im Erdinnern erfolgen. Die Färbung durch radioaktive Strahlung ist für viele Minerale sichergestellt. Aus dem Zerfalle radioaktiver Stoffe hat man versucht, das Alter von Gesteinen und der Erde selbst (zwischen 100 und 1314 Millionen Jahren) festzustellen. Die hohe Radioaktivität vieler Thermalquellen stammt von der Emanation des Nebengesteins.

Das elektrische Feld über der Erdoberfläche und Erdströme, die besonders bei Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen auftreten und bei Sonnenfinsternis abgelenkt werden, sind wohl von geringer Bedeutung für die geologischen Erscheinungen. Mit Hilfe elektrischer Ströme wird versucht, die höheren Erdschichten zu erforschen, da Erzkörper, Brüche u. dgl. die Stromlinien ablenken.

Meteoriten

Seitdem die Erde selbständig im Weltraume kreist, erfährt sie nur durch Meteoriten einen Zuwachs an Materie. Diese sind kosmische Körper, die um die Sonne kreisen und beim Eintritte in die dichteren Schichten der Erdatmosphäre, wohl in etwa 100 km Höhe, bei ihrer großen, bis 100 km erreichenden Geschwindigkeit infolge Reibung und

¹ Dynamis, gr., Kraft; durch Kraft.

² Declinatio, lat., Abweichung.

³ Inclinatio, lat., Neigung.

Zusammenpressung der Luft aufleuchten (Sternschnuppen, Meteore, Leuchtkugeln). Daß sie zu den Planetoiden gehören, deren Bahn

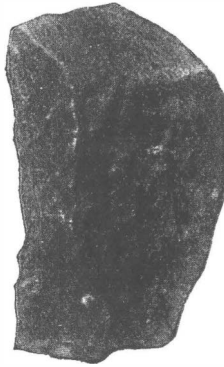


Fig. 9 Bruchstück des Meteorsteinfalles von Mocs, ältere und jüngere Schmelzflächen zeigend (phot. L. Adametz)

zwischen Mars und Jupiter gelegen ist, wird vermutet. Von den 10 bis 12 Millionen Sternschnuppen, die täglich durch die Atmosphäre gehen,

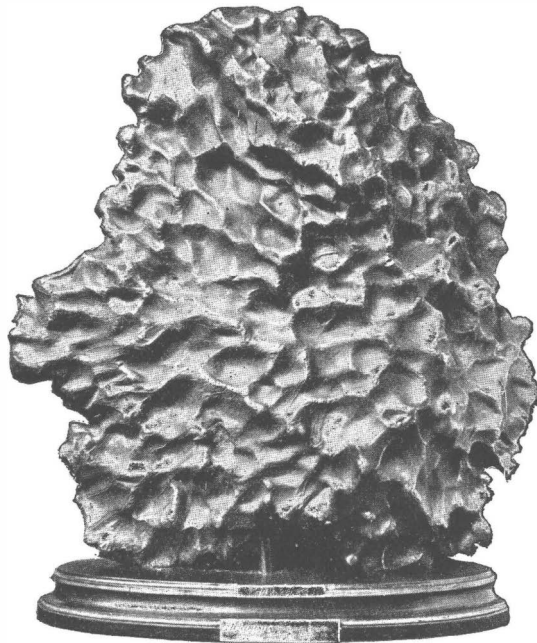


Fig. 10 Brustseite des Meteor Eisens von Cabin Creek (phot. L. Adametz)

verbrennt eine große Zahl und nur zwei bis drei fallen als Meteoriten zur Erde. Man kennt etwa 1000 Fälle und die Erde soll 450 Tonnen jährlich Massenzuwachs durch sie erfahren.

Aus etwa 40 km Höhe scheinen sie im freien Falle zur Erde zu gelangen, wobei ein Sausen, Knall oder Donner vernommen wird und ein Rauchwölkchen oft zu bemerken ist. Oft zerspringen sie in der Luft und die Bruchstücke fallen oft weit, bis zu 1900 km voneinander entfernt. Es ist beobachtet worden, daß sie im Innern sehr tiefe Temperatur besitzen. Bei der bis 1600° erreichenden oberflächlichen Erhitzung bedecken sie sich, besonders auf der Vorderseite, mit einer schwarzen Schmelzrinde.

Man unterscheidet Meteorsteine, zufällige Stücke, die widerstandsfähig sind, kristallinisches oder körniges Gefüge haben oder eckige Bruchstücke aufweisen (klastisch¹ oder brecciös² sind, Fig. 9). Sie zeigen Ähnlichkeit mit vulkanischen Gesteinen oder Tuffen.



Fig. 11 Widmannstättensche Figuren des Meteoreisens von Quesa (phot. R. Köchlin)

Die Meteoreisen sind Kristallgebilde mit gesetzmäßigen Flächen, Kanten und Ecken, die bei der Abschmelzung angegriffen werden (Fig. 10).

Der größte Stein wiegt 550 kg, viel häufiger sind kleine Steine, die oft zahlreich, bis zu 100 000, fallen. Das Eisen bildet viel größere Stücke, bis zu 50 Tonnen Gewicht.

Kosmischer magnetischer Staub (Kryokonit)³ bedeckt in hocharktischen Gebieten das Inlandeis und hat sich durch lange Zeiten angereichert. Solche Staubfälle treten auch anderwärts auf und können auf der Schneedecke nachgewiesen werden. Im Tiefseeschlamme, dessen Absatz langsam erfolgt, hat sich solches Material angereichert.

¹ Klauf, gr., ich zerbreche; aus Bruchstücken bestehend.

² Von Breccie, italienisch, Brockenstein, Mengstein.

³ Kryos, gr., Frost, konis, gr., Staub.

Die Meteoriten enthalten kein Element, das nicht auch auf der Erde nachgewiesen wäre, aber die Minerale sind zum Teil verschieden. Gediogenes Eisen, besonders Nickeleisen, ist der häufigste Bestandteil und zeigt bei Ätzung die widerstandsfähigen nickelhaltigen Zwillinglamellen des oktaëdrischen kristallinen Gefüges als damastartige Zeichnung (Widmannstättensche Figuren) hervortretend (Fig. 11).

Die fallenden Meteorite dringen meist etwas in die Erde ein. Nur ein Beispiel einer durch einen riesigen Körper geschaffenen kesselartigen Vertiefung von 1300 m Durchmesser und etwa 200 m Tiefe ist aus Nordarizona bekannt. Von ihm sind zahlreiche Trümmer im Gewichte von über 4 Tonnen gefunden worden, die Hauptmasse aber scheint abgegellt zu sein.

Kosmischer Natur dürften auch die meist walnuß- oder eigroßen Glasmeteoriten sein, die in Südböhmen und Mähren, im hinterindischen Archipel, in Australien und Tasmanien in zahllosen, lokal, chemisch und gestaltlich verschiedenen Stücken gefunden worden sind. Sie werden als Auswürflinge der Mondvulkane gedeutet.

II. Die vulkanischen Erscheinungen

Die vulkanischen Erscheinungen der Tiefe

Die Gesteine der ersten Erstarrungsrinde sind wohl nirgends erhalten. Sie sind durch äußere Einwirkungen, durch Metamorphose durch hohe Temperatur oder Druck, so verändert, daß wir ihre ursprüngliche Natur nicht mehr erkennen können, selbst wenn sie unserer Beobachtung zugänglich wären. Wir müssen uns vorstellen, daß die ersten Gesteine unter hohem Drucke und in langsamer Erstarrung granitähnlich ausgebildet gewesen und später durch äußeren Druck in Granitgneise verwandelt worden sind. Diese sind als tiefstes Glied der Gesteinsfolge weithin verbreitet.

In der Erdrinde erstarren Magmamassen zu Erstarrungs- oder Massengesteinen. Deren Beschaffenheit ist nach der Zusammensetzung des Schmelzflusses verschieden; dieser kann aber auch je nach den Bedingungen, unter denen er erstarrt, ein verschiedenes Gestein liefern. Erfolgt dies unter Druck und unter Mitwirkung von Gasen und Dämpfen, also in der Tiefe, so zeigt sich die granitische Struktur, die kristallin-körnig ist, d. h. die kristallin ausgebildeten Gemengteile sind ohne Bindemittel mit einander verwachsen (Tiefen- oder plutonische¹ Gesteine) (Fig. 16).

Erstarrt das Magma aber in Spalten oder nach Erguß auf der Erdoberfläche, kann die Abkühlung schon so weit gegangen sein, daß einzelne Gemengteile auskristallisiert sind, bevor durch rasche Abgabe der Dämpfe eine Erstarrung ohne Kristallisation zu Glas oder zu einer aus winzigen Kriställchen bestehenden Masse erfolgt, in der die Kristalle

¹ Von Pluto, dem Könige der Unterwelt, unterirdisch.

als „Einsprenglinge“ liegen (porphyrische¹ Struktur der Gang- und Ergußgesteine, vulkanische, Effusivgesteine²) (Fig. 19).

Infolge seines Dampf- und Gasgehaltes besitzt das Magma eine große Beweglichkeit, sobald es bei einer örtlichen Druckentlastung aufquillt und der Oberfläche zustrebt, wobei es wohl größtenteils die überlagernde Gesteinshülle aufzehrt oder auf Klüften und Spalten aufsteigt. Wenn es dabei nicht an die Oberfläche gelangt, sprechen wir von Tiefeneruptionen. Solche Gesteine werden nur aus der Vorzeit der Erde bekannt, wenn die Deckschichten entfernt werden. Dazu gehören die Stöcke oder Batholithen³ (Fig. 12), die in breiter Verbindung mit dem Magmaherde der Tiefe stehen und die Lakkolithe⁴

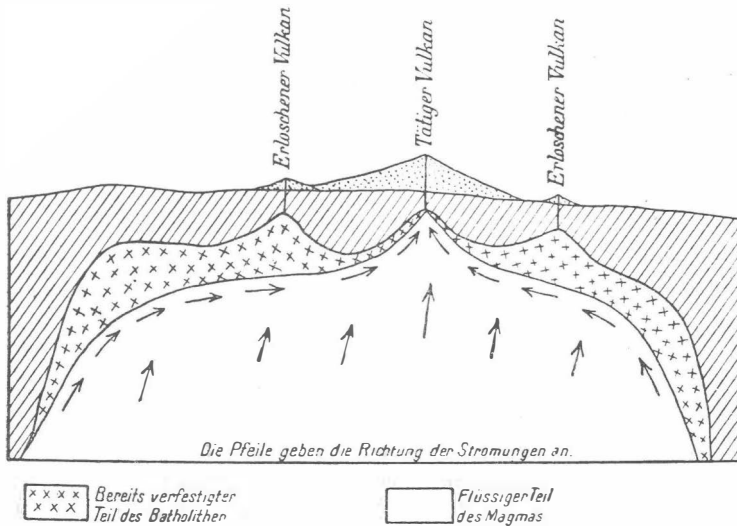


Fig. 12 Tätige und erloschene Vulkane über einem Batholithen (nach R. A. Daly aus F. Wolff)

(Fig. 13), die Einpressungen (Intrusionen⁵) in die überlagernde Erdrinde darstellen. In beiden Fällen wird die Deckhülle aufgewölbt oder aufgezehrt und durch die Hitze an den Berührungsstellen (im Kontakt)⁶ verändert, metamorphosiert.⁷ Lakkolithe erreichen 300 m Dicke und 20 km Umfang und geben Anlaß zur Gebirgsbildung durch Aufpressung mächtiger Gesteinsdecken. Von großen Magmamassen können Kanäle als Gänge oder Adern in das umgebende Gestein

¹ Porphyra, gr., Purpur, wegen der häufig roten Farbe des Gesteins.

² Effundere, lat., ergießen; von Erguß herrührend.

³ Bathys, gr., tief, lithos, gr., Stein.

⁴ Lakkos, gr., Zisterne.

⁵ Intrudere, lat., hincindrängen; Einpressung.

⁶ Contactus, lat., Berührung.

⁷ Metamorphosis, gr., Veränderung; verändert.

ausgesendet werden. Diese stellen entweder Ausfüllungen bestehender Spalten oder Einpressungen unter Aufreißen von Klüften dar. Schon



Fig. 13 Der Lakkolith von Wately (nach einer Aufnahme von N. Andrusoff)

bestehende Gänge können von jüngeren gekreuzt (verworfen) werden, sodaß man eine Altersfolge der Störungen und Intrusionen feststellen

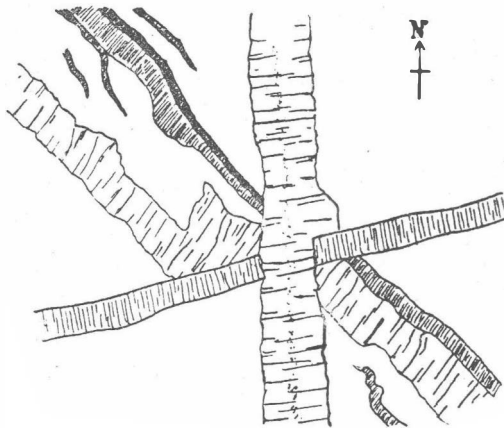


Fig. 14 Eine Altersfolge zeigende, sich schneidende Gänge (nach A. Geikie aus F. Wolff)

kann. Dies ist oft von großem Werte für den Bergbau, da an solche Gänge viele Erzvorkommen (Erzgänge) gebunden sind (Fig. 14).

Intrusiv sind auch die Lagergänge, die in aufgesprengte Schichtfugen eingepreßte Magmamassen von geringer Stärke vorstellen.

Bei Berührung von Magmamassen mit dem benachbarten Gestein wird dieses im Kontakt verändert (Kontaktmetamorphose),

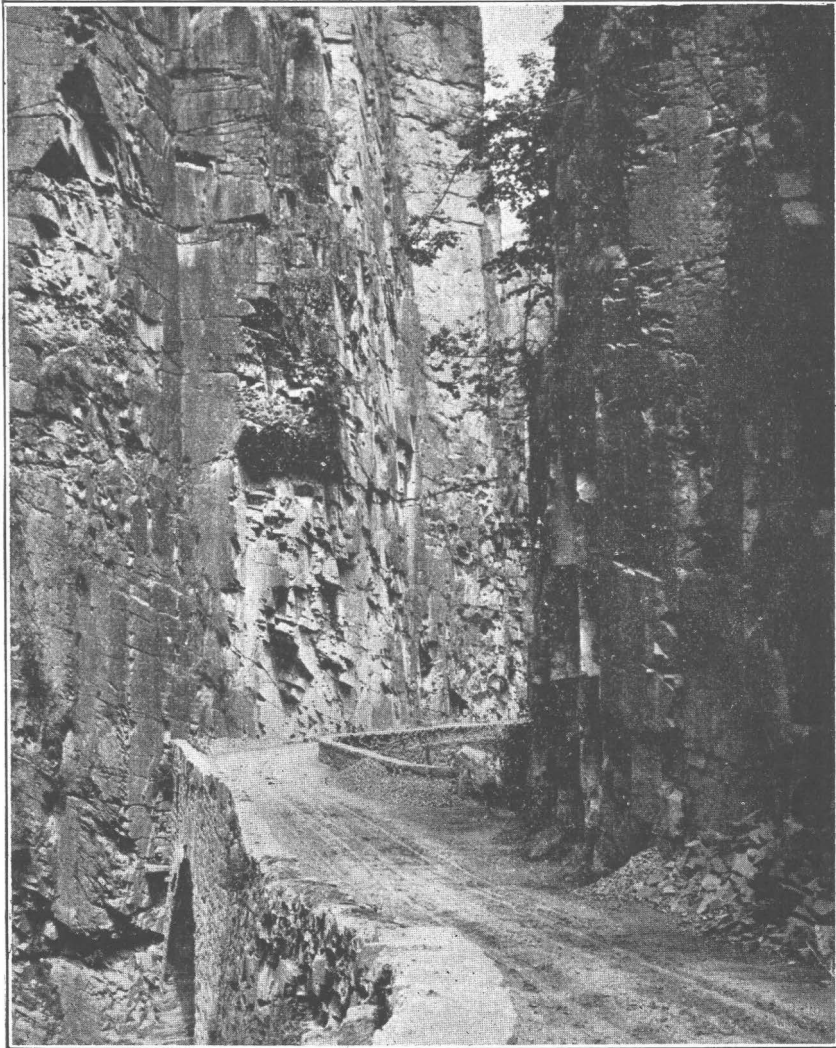


Fig. 15 Horizontale und vertikale Klüfte im Porphyry des Eggentales bei Bozen
(nach einer Aufnahme von Kilophot)

wobei besonders die Gase und Dämpfe und überhitztes Wasser kräftige Umwandlungen bewirken. Lösung und Absatz von Kontaktmineralien, Umkristallisierung und chemische Veränderungen treten ein. Viele Erzlagerstätten sind durch diese Vorgänge entstanden. Es wird gewöhnlich Kalkstein oder Dolomit durch Erz ersetzt. Dabei wird

Kalkstein in Marmor mit Kontaktmineralien verwandelt. Tonige Gesteine, Schiefer und Mergel verlieren die Schieferung und werden kristallin. Zinnerze und Eisenerze werden angereichert, Gold, Nickel, Magnetkies u. a. werden ausgeschieden. Magnetit tritt stellenweise als massenhafte Ausscheidung aus dem Magma auf.

Massengesteine lassen, schlierenartig angeordnet, verschiedenes Korn erkennen, eine Fließstruktur. Man heißt diese Absonderungsflächen, nach denen sie leicht spaltbar sind, Gare oder Bahnen. Beim Erstarren treten infolge der Zusammenziehung der Masse Zerreißungen ein, Abkühlungsspalten, die das Gestein in Platten und Schalen zerlegen. Infolge Druck von außen werden Massengesteine von zwei mehr minder vertikalen Kluftrichtungen durchsetzt, zu denen

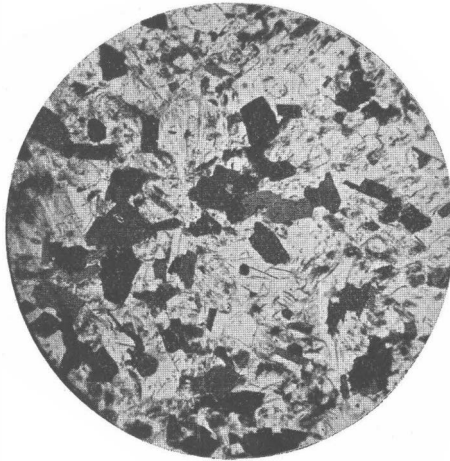


Fig. 16 Biotitgranit von Sachsen. 30mal vergrößert. Vollkörnige Struktur (phot. F. Berwerth)

eine dritte fast horizontale tritt. Durch sie wird eine quaderförmige Absonderung bewirkt, die die Verwitterung in Blöcke begünstigt (Fig. 15).

Die Massengesteine sind durchwegs Silikatgesteine, als deren Gemengteile hauptsächlich Quarz, Feldspate und ihre Vertreter, Pyroxene, Hornblenden, Glimmer und Olivin auftreten. Man unterscheidet nach dem Kieselsäuregehalte sowohl unter den Tiefen- wie unter den Ergußgesteinen kieselsäurereiche und kieselsäurearme Gesteinsreihen. Bei den an Alkalien reichen Gesteinen ist der Kieselsäuregehalt in der kieselsäurereichen und in der kieselsäureärmeren Reihe recht verschieden, bei den Magnesium und Eisen führenden verschwindet dieser Unterschied.

Die wichtigsten Tiefengesteine der kieselsäurereichen Reihe sind: Saure:

Granit. Gemengteile: Quarz, Orthoklas, Biotit (Fig. 16). Weiters kommen Plagioklase, Pyroxene und Amphibole zur Ausbildung (Pyroxen-

und Amphibolgranit). Auch Muskowit (Kaliglimmer) beteiligt sich an der Zusammensetzung mancher Granite. Eine quarzfreie Abart ist Syenit (Orthoklas und Hornblende oder Biotit). Grobkristalline Gangausfüllungen granitischen Magmas heißen Pegmatite, sehr saure feinkörnige Aplite. Durch Abkühlungsklüfte tritt schalenförmige Absonderung, durch Druckklüftung Quaderstruktur und bei Verwitterung Zerfall in Blöcke ein (Block- oder Wollsackverwitterung). Die Granitlandschaft zeigt breite, flache Kuppen. Granit tritt in großen Massen gebirgsbildend auf wie im Waldviertel, Böhmerwald, Riesengebirge usw.

Diorit besteht meist aus Plagioklas mit Hornblende oder Biotit. Das Gestein ist hell und dunkel gesprenkelt. Es gibt auch quarzhaltige Abarten.

Basische Tiefengesteine:

Gabbro ist ein aus Plagioklas und überwiegend Pyroxen oder Hornblende zusammengesetztes dunkelgefärbtes Gestein. Ein Gehalt von Olivin verbindet es mit den ganz basischen Gesteinen.

Pyroxen- und Olivinfelse sind dunkle, körnige Gesteine ohne Feldspat, vorherrschend aus Olivin, Pyroxen, Amphibol, Biotit und Erzen bestehend. Sie umfassen die schwersten Gesteine, die am Aufbaue der Erdrinde Anteil nehmen und bilden bei Verwitterung die grünlichen Serpentine.

Die kieselsäurearmen Tiefengesteine sind selten. Zu ihnen gehören die hellen Alkalisyenite und -granite, bei denen der Kieselsäuregehalt gering ist und die Alkalien überwiegen. Werden die Feldspate durch Nephelin oder Leuzit ersetzt, entstehen die Nephelin- und Leuzitsyenite. Den basischen Gesteinen entsprechen Theralithe und Essexite.

Die vulkanischen Erscheinungen der Erdoberfläche

Die ursprünglichste Form des Vulkanismus waren die Arealeruptionen,¹ bei denen das Magma die noch dünne Erdkruste aufschmolz oder durchbrach und sich über weite Flächen ergoß. Mit wachsender Dicke der Erdrinde verschwand diese Ausbruchsform und es traten Ergüsse aus Spalten auf, die Landstriche von hunderttausenden Quadratkilometern überfluteten. Daneben aber stellten sich bald Ausbrüche aus mehr minder kreisförmigen Kanälen (Schlote, Essen) ein. Die Mündung eines Schlotens auf der Erdoberfläche heißt Vulkan. Dieser Begriff ist mehr minder an das Vorhandensein eines Kraters gebunden, einer meist trichterförmigen Vertiefung, die in den Schlot führt. Bei nicht mehr tätigen, erloschenen Vulkanen sind die Krater größtenteils nicht mehr kenntlich. Meist liegt der Krater auf der Spitze eines Berges, der durch die bei einem Ausbruche (Eruption) geförderten Gesteinsmassen aufgebaut ist (Vulkanberge, im engeren Sinne Vul-

¹ Area, lat., Fläche, erumpere, lat., ausbrechen; flächenhafter Ausbruch.

kane). Die Vulkane stehen meist vereinzelt oder in Gruppen beisammen, bilden aber keine zusammenhängenden Bergzüge. Während man früher angenommen hat, daß sie durch Pressung des Magma emporgewölbt werden (Erhebungstheorie), weiß man heute, daß sie ihre oft sehr steile Bergform der Aufschüttung des gefördertten Materials verdanken (Aufschüttungstheorie). Hebungen von Gesteinsmassen des Untergrundes sind nur in geringem Maße beobachtet worden.

Der Krater kann durch Nachbruch, Explosion oder Abtragung eine sehr große Ausdehnung erlangen und heißt dann Caldera (Einbruchs-, Explosions-, Erosionscaldera). Meist auf Erosion, seltener auf Explosionen sind die tiefen Radialtäler zurückzuführen, die den Rand der Caldera durchschneiden.

Das empordringende Magma gelangt meist in Weißglut an die Oberfläche, wo es als Lava bezeichnet wird. Kieselsäurereiche (saure)



Fig. 17 Block- und Fladenlava am Kilauea, Hawaii (phot. F. X. Schaffer)

Laven sind dickflüssig, kieselsäurearme (basische) dünnflüssig. Diese sind dunkel, jene lichter. Die Struktur ist entweder dicht und glasig oder infolge der entweichenden Gase porös und schlackenartig. Sie zeigen deutlich Fließstruktur, besonders in die Länge gezogene Poren. Man unterscheidet Laven mit mehr glatter oder mit wulst- oder strickförmigen Erhabenheiten (Fließwülsten) bedeckter Oberfläche, die lange Spalten und überschobene erstarrte Schollen aufweisen. Dies sind leichtflüssige Laven, die sich rasch bewegen, länger flüssig bleiben und einen Schmelzpunkt von etwa 1000° besitzen. Sie bilden lange, wenig mächtige Ströme und Lavafelder (Fladen-, Wulst-, Strick-, Gekröselava, Fig. 17). Zähflüssige Lava mit einem Schmelzpunkt bei 1800° gibt die absorbierten Gase unter fortwährenden kleinen Explosionen ab und die Oberfläche zerspritzt überaus uneben und die

Lava erstarrt sehr rasch und erinnert an Schlacke (Block-, Schlacken-, Spratzlava, Fig. 17).

Bei Vulkanbergen erfolgt der Austritt der Lava selten durch Überfließen aus dem gefüllten Krater, viel häufiger aus Spalten an den Flanken (Fig. 18).

Dünnflüssige Lava bildet beim Dahinströmen Kaskaden und fließt bis zu 30 km in der Stunde und ihre dünnen Ströme erreichen 50 km und darüber in der Länge. Dickflüssige Lava legt nur kürzere Wege langsam zurück und erstarrt so rasch, daß man über einen noch in Bewegung befindlichen Strom hinwegschreiten kann. Bei dünnflüssiger Lava kann die erstarrte Oberfläche gewölbeartig erhalten bleiben, während das Innere ganz ausfließt, wodurch Lavakanäle entstehen. Sehr zähe Lava bildet Quellkuppen. Die entweichenden Gase und

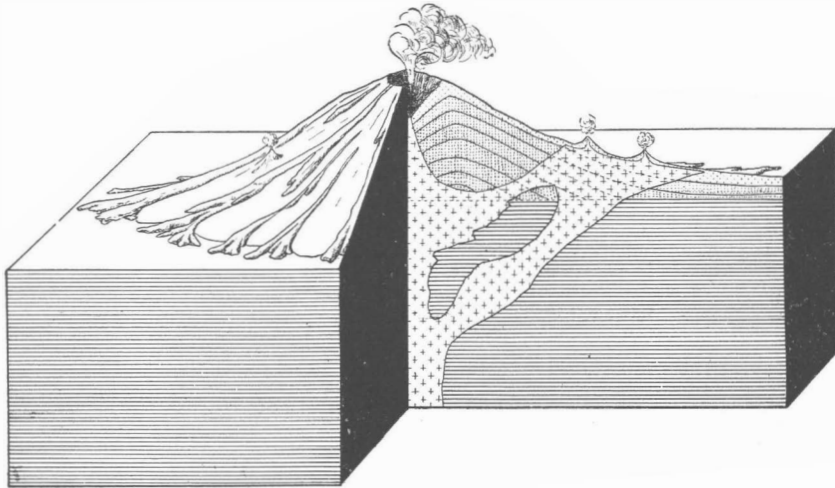


Fig. 18 Modell eines Vulkans. Zeigt die Schichtung des Kegels, die radialen Gänge, den Krater, parasitäre Kegel und Lavaströme auf den Flanken

Dämpfe reißen kleine Fladen von Lava mit und bauen sie zu hohlen Kegeln (Schornsteinen) auf, die meist wenige Meter hoch sind, aber auch 40 m erreichen können.

Große Ströme erstarren erst nach Jahren vollständig. Dabei kristallisieren allseitig ausgebildete Kristalle von Leuzit, Olivin, Augit usw. aus und durch die Dämpfe entstehen Kristalle, wie Leuzit, Augit, Kochsalz, Salmiak und Eisenchlorid. Bei sinkender Temperatur enthält der Wasserdampf nur mehr Salzsäure und schwefelige Säure und zum Schlusse strömt nur noch Schwefelwasserstoff (Solfataren) und Kohlensäure (Mofetten) aus (Exhalationen).¹ In erstarrten Laven bilden sich Abkühlungsspalten und zwar eine plattige Absonderung parallel zur Oberfläche, wo die Abkühlung rasch vor sich geht und im Innern vier bis sechsseitige schlanke Säulen, die zur Abkühlungsfläche senkrecht stehen, in engen Strömen also fiederständig angeordnet sind. Auch Laven erzeugen in Nachbargesteinen kontaktmetamorphe Veränderungen auf ein paar Meter Entfernung. Mergel und Sandsteine werden gebrannt (gefrittet), sie werden rötlich

¹ Exhalatio, lat., Aushauchung, Gasausströmung.

verfärbt, zum Teil verglast und unter Wasserverlust durch Trocknungsspalten in vier- oder mehrseitige Prismen zerlegt. Kalke verlieren die Schichtung; die organische Struktur und kohlige und bituminöse Färbung verschwinden und es entsteht weißer Marmor. Braunkohle wird verkocht oder durch Abgabe von Wasserstoff und Sauerstoff in Schwarzkohle und Anthrazit verwandelt.

Neben Laven werden bei Eruptionen auch lose Auswürflinge gefördert. Lavafladen, die in die Luft geschleudert werden, rotieren und bilden kugelige bis spindelförmige Bomben bis zu 1 m im Durchmesser. Falls die Lavafetzen in plastischem Zustande sich aufhäufen, bilden sie eckige, blasige Schlacken. Feinere Teile fallen als Lapilli von eckiger oder runder Gestalt und Erbsen- bis Nußgröße zu Boden. Saure Laven geben durch Wasserdampf schaumig bis zum 12 bis 15fachen Volumen aufgeblähten, hellen, seidenglänzenden Bimsstein, der sich lange Zeit auf dem Wasser schwimmend erhalten kann. Feinste Teilchen werden als Staub und Asche hoch in die Luft geschleudert und oft weithin durch die Luftströmungen verfrachtet. Sie bilden Anhäufungen von vulkanischem Sand und Asche.

Sehr dünnflüssige Lavatropfen erhalten tränenförmige Gestalt oder werden zu dünnen Fäden, ähnlich gesponnenem Glase ausgezogen. Durch Anhäufung von feineren Auswürflingen werden zum Teil geschichtete vulkanische Tuffe, in denen Blöcke und Bomben liegen, gebildet und durch Sickerwässer verfestigt. Sind sie gröber, heißen sie vulkanische Konglomerate¹ oder Breccien. Material des Vulkankegels oder des Untergrundes wird bei der Explosion mitgerissen. Die Auswürflinge werden meist kegelförmig um den Schlot zu einem Aschen- oder Schlackenkegel bis 35⁰ geböscht aufgehäuft. Dabei tritt in der Luft eine Sonderung (Seigerung) des Materials nach der Größe des Kornes ein und die Ablagerung erfolgt schichtenweise. Das in den Krater zurückfallende Material zeigt eine entgegengesetzte Neigung. Neben den festen Produkten werden auch gasförmige gefördert: große Mengen von Wasserdampf, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Schwefeldämpfe und Kohlensäure. Brennbare Gase erzeugen Feuererscheinungen.

Wie bei den Tiefengesteinen unterscheidet man auch bei den Ergußgesteinen eine relativ kieselsäurereiche und eine relativ kieselsäurearme Reihe. In jeder hat man ein saures und ein basisches Ende. Die kieselsäurereiche Reihe ist die der Kalkalkaligesteine, die kieselsäurearme die der Alkaligesteine. Während die sauren, hellen Gesteine beider Reihen scharf voneinander geschieden sind, nähern sich die beiden Reihen, wo die dunklen Gesteine liegen, einander. In die kieselsäurereiche Reihe gehören: Saure:

Liparit, helle und meist poröse (Bimsstein), oft dunklere, glasige Gesteine (Pechstein, Obsidian). Dichte oder glasige Grundmasse mit Einsprenglingen von Sanidin (Orthoklas), seltener Plagioklas, Quarz,

¹ Conglomerate, lat., zusammenballen; verkittete Gerölle.

Biotit. Ältere Liparite heißen Quarzporphyre. Vorkommen: Italien, Südtirol, böhmisches Mittelgebirge, Sachsen.

Dazit, ähnlich dem Liparit, nur mit einer größeren Menge dunkler Gemengteile. Vorkommen: Ungarn, Liparische Inseln, Anden. Beide Gesteine sind sehr zähflüssig und bilden Quellkuppen.

Andesite (Porphyrite), hellgrau bis schwarz, dichte Grundmasse mit Plagioklas, Pyroxen, Hornblende oder Biotit als Einsprenglingen. Vorkommen: Ungarn, Thüringen, Skandinavien, Ägypten, Anden, Rocky Mountains.

Basische: Feldspatbasalte, gewöhnlich schwarze, bei Verwitterung grüne Gesteine (Grünschiefer). Dunkle Gemengteile (Pyroxen, Hornblende) vorherrschend, daneben Plagioklase und Olivin. Die porphyrische Struktur geht bei Zunahme der dunklen Gemengteile in eine

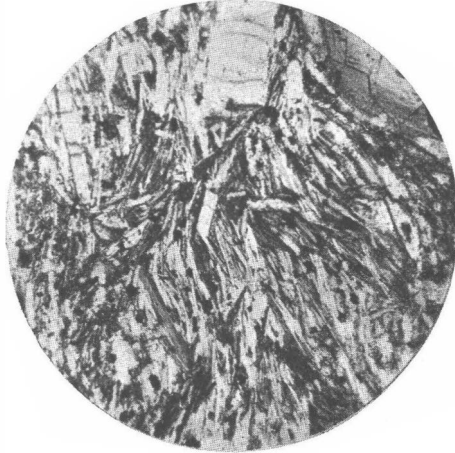


Fig. 19 Trachyt. Phlegräische Felder. 90mal vergr. Porphyrische Struktur. In der Tiefe ausgebildeter Sanidinkristall in der Mitte oben. Alkalifeldspate, beim Ausbruche erstarrt, mit Fluidalstruktur; glasige Masse rechts oben. (phot. F. Berwerth)

körnige über. Vortertiäre Basalte heißen Melaphyre. Die körnig ausgebildete Abart von Basalt heißt Diabas. Basalte sind weit verbreitet in Böhmen, in der Eifel, in Zentralfrankreich, auf den pazifischen Inseln. Deckenergüsse in Island, Grönland, Dekhan, Nordamerika u. a. O. Melaphyre in Südtirol, Thüringen, Skandinavien, Kanada.

Kieselsäurearme Gesteinsreihe: Saure:

Trachyt, hellgefärbte, dichte Grundmasse, quarzfrei. Sanidin, weniger Plagioklas oder dunkle Minerale als Einsprenglinge. Rot oder braun verwitternd, oft rauhrüchig und porös. Nach den Gemengteilen unterscheidet man Augit-, Biotittrachyt usw. Alle sind zähflüssig und bilden Kuppen. Ältere Trachyte heißen Porphyre (Böhmen, Oberitalien, Auvergne, Fig. 19).

Phonolith (Klingstein), dichte, lichtgraue oder grünliche Grundmasse mit Sanidin, Nephelin oder Leucit als Einsprenglinge, seltener

Pyroxen oder Hornblende, zähflüssig. Vorkommen: Böhmisches Mittelgebirge, Schwaben, Zentralfrankreich.

Basische: Tephrit, Nephelin-, Leucitbasalt sind dunkle Gesteine mit dichter oder feinkörniger Grundmasse mit Pyroxen und Olivin, seltener Leucit und Nephelin als Einsprenglinge (Vesuvlaven). Nahe stehen die Augitite mit glasiger Grundmasse, mit Pyroxen und Olivin als Einsprenglingen, ohne Feldspat, Nephelin und Leucit.

Übersicht der Erstarrungsgesteine

	Kieselsäurereiche Reihe	Kieselsäurearme Reihe
Tiefengesteine	Granit Syenit Diorit Gabbro	Alkaligranite und -syenite Nephelin- und Leucitgesteine
	Pyroxen- und Olivinfelse	
Ergußgesteine	Liparit (Quarzporphyr) Dazit Andesit (Porphyrit) Feldspatbasalt (Melaphyr, Diabas)	Trachyt (Porphyr) Phonolith Tephrit Nephelin- und Leucitbasalt Augitite

Typen vulkanischer Ausbruchstätigkeit

Der einfachste Typus eines feuerspeienden Berges ist das Maar. Der Name stammt aus der Eifel, wo kreisförmige, steilwandige Vertiefungen im Untergrunde durch Explosion von Gasen entstanden sind und meist kleine Seen bilden (Fig. 20). Vulkanisches Material ist oft nicht ausgeworfen, nur ein Ringwall von Gesteinstrümmern des Untergrundes umgibt den Krater. Ihre Größe beträgt zwischen 60 m und 3,5 km Durchmesser. Anderswo erreichen sie 25 km. Sie sind in der Auvergne, in Mittelitalien, Mexiko u. a. O. bekannt. Bisweilen sind ihre Schlotte Hunderte von Metern tief bloßgelegt. Solche Schlotte von Kimberlit¹ sind in Südafrika die reichsten Diamantfundstätten.

Auf große Gasmassen sind die Eruptionen von Peléischem Typus zurückzuführen, wie sie die Montagne Pelée auf Martinique 1902 gezeigt hat. Eine glühende, mit Asche und Lapilli beladene Wolke, die noch am Strande eine Temperatur von zirka 450° besessen hat, schoß von dem 1351 m hohen Gipfelkrater mit Schlammströmen zutal und zerstörte die Stadt St. Pierre und tötete 26.000 Menschen. Nachher erhob sich ein andesitischer Lavadom (Quellkuppe) im Krater und daraus wurde eine glühende, 375 m hohe Felsnadel von 100 m Dicke emporgepreßt (Fig. 21). Diese Art von Ausbrüchen ist auf Java häufig und verursacht große Verwüstungen. Quellkuppen finden sich in der Auvergne, auf der Insel Réunion u. a. O.

¹ Nach der südafrikanischen Stadt Kimberley, einer wichtigen Diamantfundstelle, benanntes Gestein.

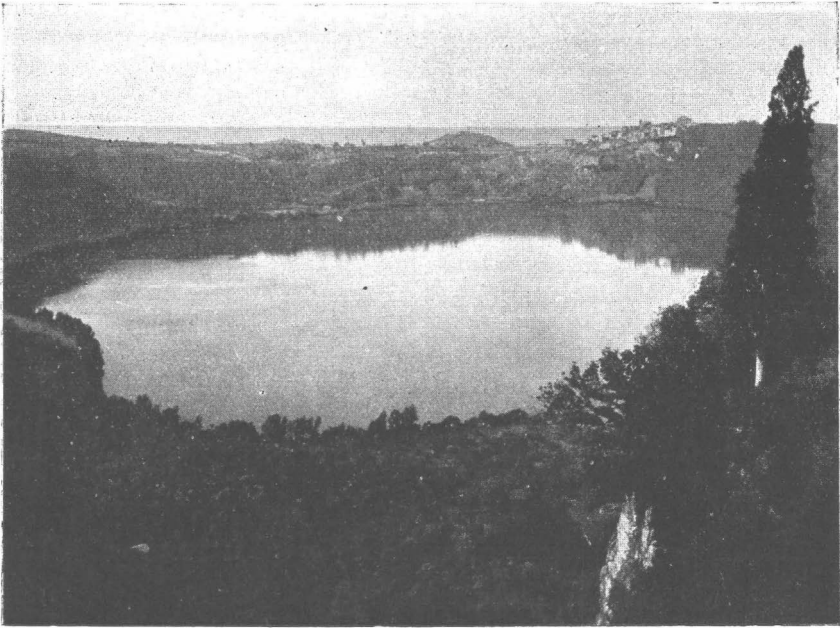


Fig. 20 Lago di Nemi, ein Maar im Albanergebirge (nach einer Aufnahme von G. Sommer, Neapel)

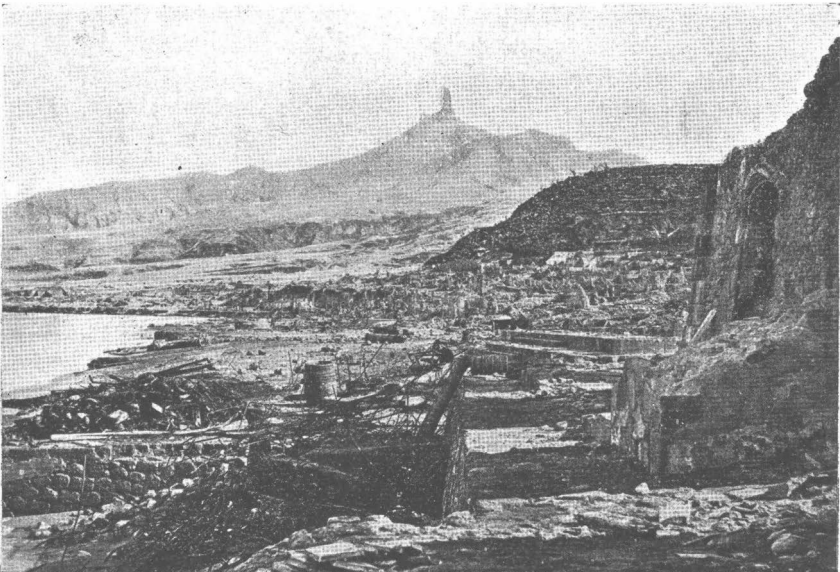


Fig. 21 Das zerstörte St. Pierre (nach A. Lacroix). Zeigt den turmförmigen Lavapropf am Gipfel des Montagne Pelée.

Auf eine gewaltige Wasserdampfexplosion ist der Ausbruch des Krakatau, einer Vulkaninsel zwischen Sumatra und Java im Jahre 1883 zurückzuführen, die durch Einbruch des Meerwassers zu dem Magma verursacht worden ist. 18 km³ Asche und Bimssteine wurden ausgeworfen und bedeckten eine Fläche von über 800 000 km². Die Explosion wurde auf eine Entfernung von 3400 km vernommen. Die Lufterschütterung kreiste mit 1000 km Stundengeschwindigkeit um die Erde. Eine Flutwelle brach 36 m hoch über die benachbarten Küsten und vernichtete 36 000 Menschen. Sie wurde über die ganze Erde als Springflut wahrgenommen. Die Aschenwolke reichte bis 70 km hoch und die feinsten Teilchen umkreisten jahrelang in den höchsten Luftschichten die Erde und riefen farbenprächtige Dämmerungserscheinungen hervor.

Der vulkanianische Typus der Feuerberge ist durch zähflüssiges Magma charakterisiert, durch dessen Erstarrung der Schlot rasch verstopft wird. Die Gase und Dämpfe erreichen bisweilen eine solche Spannung, daß sie mit heftiger Explosion hervorbrechen und große Mengen Asche und Bomben werden ausgeworfen. Zu dieser Eruptionsform gehören die bekanntesten Vulkanberge, der Vesuv und der Ätna und die Essen der liparischen Inseln. Der charakteristische Anblick des Vesuv zeigt den ringförmigen unvollständigen Rest eines großen

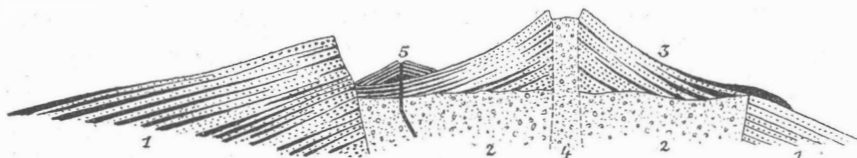


Fig. 22 Profil durch Vesuv und Somma (nach F. Löwl), 1 Reste des alten Somma-vulkanes mit Lavaergüssen, 2 der mit Brockentuff gefüllte Schlot, 3 Vesuvkegel mit Lavaergüssen, 4 der heutige Schlot, 5 parasitärer Lavakegel im Atrio

Kegels, die Somma, aus dem sich der eigentliche junge Kegel bis 1300 m erhebt (Fig. 22). Die Somma ist der 1132 m hohe Rest des Urvesuvs, der bei der wohl vorgeschichtlichen Zerstörung des Berges durch eine Eruption erhalten geblieben ist. Der Vesuv war im ersten Jahrhundert nach Christi ein bewaldeter Kegelsberg, dessen wahre Natur nur Strabo erkannt hatte. Im Jahre 63 stellten sich heftige Erdbeben ein und bei der Eruption am 24. August 79, die der jüngere Plinius anschaulich schildert, erhob sich eine hohe, oben ausgebreitete Pinienwolke, aus der Asche und Lapilli in solcher Menge fielen, daß die Orte Pompeji und Stabiä völlig verschüttet wurden, wobei sich aber die Bevölkerung fast gänzlich retten konnte (Fig. 23). In dem zwischen Somma und Vesuv gelegenen Tale, dem Atrio del Cavallo, zeigt sich sehr deutlich der Aufbau des Urvesuvs aus Schichten von Lava, Schlacken und Asche, die von senkrechten Lavagängen durchsetzt werden. Der innere Aschen- und Schlackenkegel baut sich bei ruhiger Tätigkeit bis über 1300 m auf, bei heftigen Explosionen erniedrigt sich der Gipfel (1906 um 150 m). Der Krater hat eine steilwandige Trichterform von etwa 500 m Durchmesser und ist heute ein seichter, steilwandiger Kessel. Die Lava im Schlotte ist vorübergehend glutflüssig und schwankt in ihrem Stande. Sie durchbricht häufig die Flanken und tritt als Strom zutage, der bisweilen bis an die 4 bis 8 km entfernte Küste reicht. Die Lava hat eine Temperatur von 1000 bis 1070°, gehört also zu den leichtflüssigen. Es tritt Block- und Fladenlava auf. Früher war das Material sauer (trachytisch), die jüngeren Laven sind basisches, Leuzit führendes Magma. Die heftigen Dampfexplosionen reißen feine Asche bis in 7 km Höhe und dunkle

Wolken verfinstern das Land. Große Wassermassen, die von der Verbrennung des Wasserstoffes oder von den Wasserdämpfen herrühren, stürzen in heftigen Güssen herab und bilden mit der Asche Schlammströme, die alles verheeren. Die Asche flog wiederholt bis an die afrikanische Küste und nach Konstantinopel.

Der Vesuv ist der am längsten und genauesten bekannte Vulkan, aber doch kommen die Eruptionen völlig überraschend. Vom Jahre 79 bis zum 12. Jahrhundert fanden acht stärkere Ausbrüche statt, dann folgte eine 500jährige Pause.

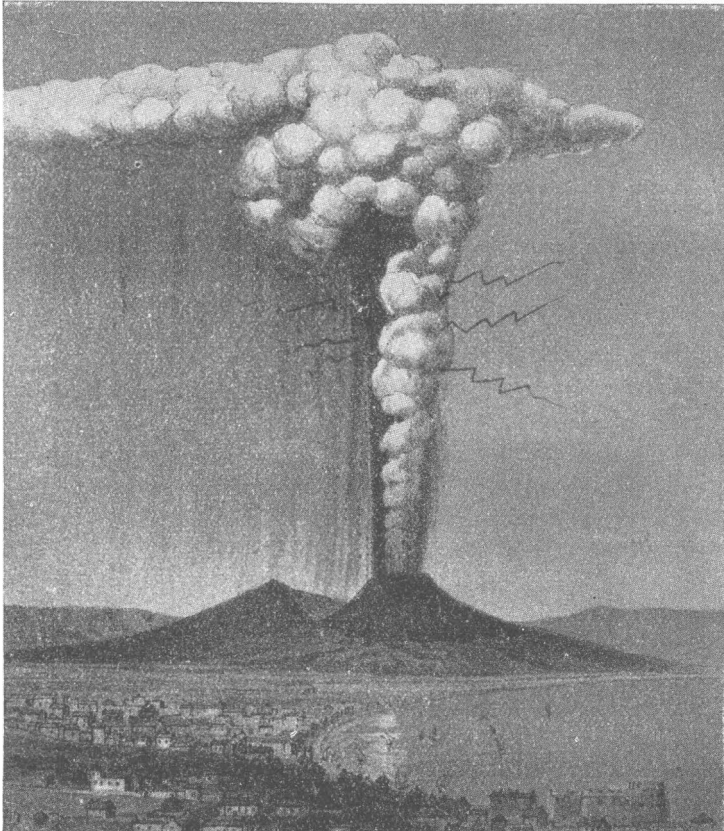


Fig. 23 Eruption des Vesuv, Oktober 1822 von Neapel aus gesehen (nach P. Scrope).

Seit 1660 ist der Berg in Tätigkeit, sodaß kein Dezennium ohne Eruption vergeht. Die Erdbeben, die sich dabei einstellen, sind rein örtliche, mit der Magmabewegung im Zusammenhang stehende vulkanische Erschütterungen.

Westlich von Neapel breiten sich die Phlegräischen Felder aus, mit etwa 20 Eruptionszentren, die seit Jahrhunderten keinen Ausbruch mehr gehabt haben und im Zustande postvulkanischer Tätigkeit sind. Es sind ausgedehnte trachytische Ringvulkane bis zu 13 km im Durchmesser, aber nur ein paar hundert Meter hoch. Die Solfatara ist ein seichter Krater von 500 m Durchmesser, aus dessen Boden an vielen Stellen Wasserdampf und Schwefelwasserstoff brausend entweichen, durch die die Gesteine zu Alunit zersetzt werden. Darnach wird

diese Form des Ausklingens einer vulkanischen Tätigkeit Solfataren genannt. In der „Hundsgrotte“ bedeckt Kohlensäure den Boden, sodaß Hunde und andere kleine Tiere darin ersticken, während in Manneshöhe die Luft atembar ist. Solche als Mofetten bezeichnete Gasexhalationen treten anderwärts viel großartiger auf, wie z. B. im Totentale auf Java. Wasserdampfausströmungen (Fumarolen)¹ und heiße Quellen sind ebenfalls oft eine Folgeerscheinung einstiger eruptiver Tätigkeit. Der bei Puzzuoli unweit Neapel gelegene 139 m hohe Monte Nuovo ist durch einen nur zwei Tage dauernden Aschenausbruch im Jahre 1538 aufgeschüttet worden. Durch Pressung und Nachsinken des nahe der Erdoberfläche liegenden Magmas haben an dem dortigen Küstenstriche Hebungen und Senkungen stattgefunden.

Der Ätna ist der größte Vulkan Europas. Seine Höhe beträgt 3300 m, sein Durchmesser 45 km. Sein Fuß ist aus Laven, der Kegel aus Auswürflingen aufgebaut. Aus Spalten an seinen Flanken brechen Lavaströme hervor, die bis 10 km lang werden und das Meer bisweilen erreicht haben. Aus dem 450 m weiten Krater, der fast stets Dampfvolken ausstößt und aus zahlreichen parasitären² Kratern, deren fast 1000 gezählt werden und die von ein paar Meter bis 250 m hoch sind, werden Asche und Schlacken ausgeworfen. Ein tiefes Tal (Valle del Bove) zerschneidet die Ostflanke des Berges und ist wohl durch eine frühere Explosion ausgesprengt worden.

Der 900 m hohe Inselvulkan Stromboli im Tyrrhenischen Meere stellt einen etwas verschiedenen Typus dar und ist seit der historischen Zeit, freilich mit Unterbrechungen tätig. In der Sage des Altertums ist er als Sitz des Aiolos, des Gottes der Winde, bekannt und seine Rauchsäule dient heute noch den Schiffern als Barometer, da sie von Luftdruckschwankungen beeinflusst wird. Die dünnflüssige Lava steigt im Krater mit Dämpfen gesättigt auf und kleine Explosionen, die mit 3 bis 26 Minuten Pause erfolgen, schleudern die glühenden Fladen empor. Eine helle, zum Teil durch Asche dunkel gefärbte Dampfvolke erhebt sich bis 200 m hoch.

Auf der Insel Hawaii im Pazifischen Ozean finden Ausbrüche von ganz verschiedener Form statt, die einen altertümlichen Typus darstellt. Die über 10000 km² umfassende Insel ragt mit anderen aus dem 5000 m tiefen Ozean bis über 4000 m hoch empor. Sie stellt einen flachen Schild vor, der aus zahlreichen Ergüssen dünnflüssiger basaltischer Lava der fünf großen Vulkane gebildet ist. Von diesen ist nur mehr der Mauna Loa, 4100 m hoch, und der an seiner Flanke gelegene Kilauea tätig. Er besitzt einen durch Einbruch erweiterten Gipfelkrater von 13 : 10 km Weite und 300 m Tiefe. In diesem liegen kleinere Kegel. Die Lava steigt bei Ausbrüchen ruhig empor und fließt über den Rand oder tritt aus Spalten zutage. Explosionen haben seit der Entdeckung der Inseln im Jahre 1778 nicht mehr stattgefunden, sind aber aus früherer Zeit nachzuweisen. Die dünnflüssige Lava wird bei heftiger Entgasung springbrunnartig emporgeworfen. Sie ist flüssig wie Öl oder Wasser, fließt bis 30 km in der Stunde, bildet glühende Kaskaden und Ströme bis 53 km Länge.

Der Kilauea liegt in 1200 m Höhe und besitzt einen 6 : 4 km messenden, 200 m tiefen Krater. Den Boden bildet erstarrte Lava, die einst ein riesiger Feuersee gewesen ist. In der jüngsten Vergangenheit ist nur mehr eine Stelle von 350 : 300 m Ausdehnung tätig gewesen, der als Halemaumau (Sitz des

¹ Fumus, lat., Rauch; Rauch-, Dampfausströmung.

² Parasitos, gr., Schmarotzer; kleiner Nebenkrater.

Feuers) bekannte Lavasee. Dessen Spiegel war großen Schwankungen unterworfen, er floß bald über oder verschwand in ein paar hundert Meter Tiefe unter einer Lavakruste. Lavaspringbrunnen zeugten für die heftige Gasexhalation. Die Lavatropfen erstarren zu Peles, der Feuergöttin, Tränen oder zu glasartigen Fäden (Peles Haar). Die Schwankungen des Lavaspiegels werden vom Drucke des Magmas verursacht, das in geringer Tiefe liegt und durch dessen Pressungen bis mehrere Meter betragende, nur durch Messungen bemerkbare Hebungen und Senkungen der Umgebung stattfinden. Die Lava besitzt eine Temperatur von 1000 bis 1100°. Das am Krater befindliche Observatorium hat in einer zwölfjährigen Beobachtungsreihe eine Fülle der wertvollsten Erfahrungen geliefert. Im Jahre 1789 hatte der Kilauea einen gewaltigen Aschenausbruch, der sich erst 1924

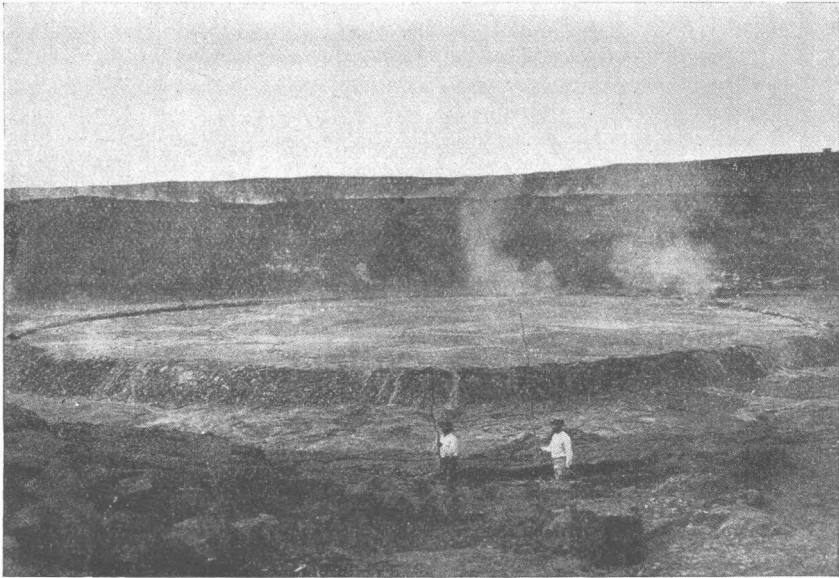


Fig. 24 Halemaumau im März 1894 (nach W. T. Brigham). Die Lava bildet einen kleinen See, der überfließt.

wiederholte. Dabei wurde der Halemaumau auf den dreifachen Durchmesser erweitert, aber die Lava ist seitdem verschwunden (Fig. 24).

Diese Form der Eruptionen führt zu den Ergüssen aus Spalten (Decken-ergüssen), die mächtige Gesteinsdecken bilden, die zu Plateaulandschaften, Trappgebirgen zerlegt werden. Man kennt sie außer in Island nur aus der Vorzeit der Erde wie den Dekhantrapp in Vorderindien, wo 300 000 km² mit Zwischenlagen bis 2000 m hoch bedeckt sind und das 400 000 km² umfassende Tafelland im Nordwesten der Vereinigten Staaten. In junger Vergangenheit hat eine noch weit größere Tafel Grönland, Island und die Far Öer verbunden.

Vulkanische Ausbrüche finden auch am Meeresboden statt, wodurch Inseln aufgeschüttet werden.

Die aus lockeren Massen aufgebauten Reliefformen der Vulkanberge, wie die Aschenkegel, werden rasch durch Wasser und Wind zerstört. Schließlich bleiben nur die Lavagänge und die Ausfüllung des

Schlotes übrig, die bisweilen tief bloßgelegt sind (Fig. 25). Solche stockförmige Massen sind die Kimberlitpipes Südafrikas, die reichsten Fundstätten von Diamanten.

Man hat früher einen Zusammenhang der vulkanischen Erscheinungen und der Verteilung der Meere angenommen und der Infiltration des Wassers eine ursächliche Rolle dabei zugeschrieben, da die meisten heute tätigen Vulkane in der Nähe der Küsten liegen. Aber viele sind doch weit davon entfernt. In historischer Zeit hatten 367 Vulkane Eruptionen, von denen neben vielen erloschenen zwei Drittel (250) um den pazifischen Ozean (pazifischer Vulkankranz) und in einer schmalen Zone durch Südeuropa, Nordafrika und Südasien, nach dem hinterindischen Archipel liegen, also in den Erdbebenzonen, den jungen Geosynklinalen. Sie sind eben an die Bruchränder der Kontinente, an die großen Störungslinien der Erdkruste gebunden. Sie treten daher auch in den Bruchzonen der Epeirogene, wie am ostafrikanischen Graben auf.

Am Vulkanismus merkt man das Altern der Erde, ein Erlahmen der Kräfte im Innern im Laufe der erdgeschichtlichen Perioden. Man kann Zeiten einer gesteigerten Tätigkeit und solche größerer Ruhe erkennen und wir wissen, daß

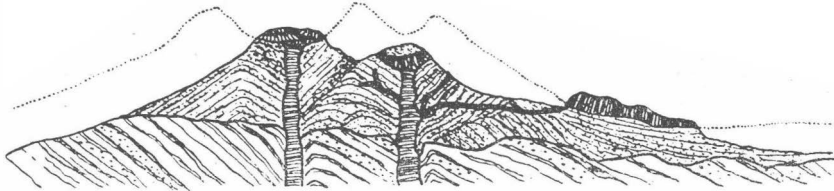


Fig. 25 Profil durch vulkanische Schlote (nach A. Geikie)

jene mit den Phasen der Gebirgsbildung zusammenfallen. Aber Vulkane sind nicht an die Gebirge gebunden, sondern an tiefgehende Störungen der Erdrinde, die dem Magma den Weg zur Oberfläche öffnen, also an Brüche, die die Erdrinde durchsetzen. Gebirge, durch den Zusammenschub von Stücken der Erdrinde gebildet (Faltengebirge), sind meist frei von Ausbruchszentren und es hat sich gezeigt, daß die vulkanische Tätigkeit zur Ruhe kommt, sobald die Gebirgsbildung eintritt, wobei eine Verfestigung dieser Zonen und ein Schließen der Magmawege eintritt.

III. Das Wirken der Kräfte der Erdoberfläche

A. Die Verwitterung

Sobald die feste Erdrinde gebildet war, begannen die exogenen Kräfte ihr Werk, die die Einebnung herbeizuführen trachten. Sie wirken an einem Punkte entweder zerstörend oder aufbauend, entweder abtragend oder ablagernd. Diese Gruppen schließen einander zeitlich und räumlich aus. Wo abgetragen wird, kann nicht gleichzeitig abgelagert werden. Es gibt Perioden der Abtragung (Erosion)¹ und der Ablagerung (Gesteinsbildung). Die Vorgänge bei Abtragung, Ablagerung und

¹ Erodere, lat., wegfressen, abnagen; Abtragung der Erdoberfläche.

Gesteinsbildung umfassen erstens die Lockerung des Gesteins (Verwitterung), zweitens den Transport der Zerstörungsprodukte, drittens den Angriff dieser bewegten Massen auf die Erdoberfläche (Korrasion)¹, viertens deren Ablagerung, fünftens die Verfestigung der abgelagerten Zerstörungsprodukte zu neuen Gesteinen (Gesteinsbildung). Die Stadien zwei bis drei werden als Abtragung zusammengefaßt.

Alle Gesteine der Erdrinde verändern ihre Beschaffenheit in Hinsicht auf Farbe, Gefüge, chemische Zusammensetzung usw. als Folge chemischer oder mechanischer Vorgänge, die auf ihre Zerstörung hinielen. Diese gehen hauptsächlich unter dem Einflusse der Atmosphäre, der wechselnden Witterung vor sich und wir nennen sie daher Verwitterung. Nach den Kräften, die sie bewirken, unterscheidet man die physikalische, die chemische und die organische Verwitterung. Die physikalische (mechanische) Verwitterung wird hauptsächlich durch den Wechsel der Temperatur bewirkt, die auf der Erdoberfläche zwischen -70 und $+80^{\circ}\text{C}$ schwankt. Bei der Erwärmung und der Abkühlung der Gesteine gehen molekulare Veränderungen vor sich, die sich durch Volums- und Dichteänderungen äußern. Dadurch wird das Gefüge gelockert.

In trockenen Landstrichen, besonders in Wüsten sind die Temperaturschwankungen infolge Insolation und der nächtlichen Wärmeausstrahlung sehr beträchtlich. Schattentemperaturen von 50° sind häufig, während des Nachts das Wasser gefriert und diese Temperaturstürze vollziehen sich auch während Gewitterregen sehr rasch. Die physikalische Zerstörung der Gesteine ist daher bedeutend und erreicht etwa 1 cm in 2000 Jahren. Besonders zusammengesetzte Gesteine, wie die meisten Massengesteine, werden rasch angegriffen, da die Gemengteile sehr verschiedenes Absorptionsvermögen und verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Sie zerfallen also sehr rasch in ihre Bestandteile. Granit löst sich in groben Sand auf, der aus Quarz, Feldspat und Glimmer, eventuell Hornblende besteht, die chemisch unverändert sind. Felsen erhalten dadurch oft sonderbare, an rohe Skulpturen erinnernde Formen, Gruben, Nischen usw. (Bienenwabenstruktur). Es lösen sich die oberflächlichen Partien als Schalen ab, die oft blattdünn, aber auch mehrere Zentimeter oder Dezimeter stark sind (Abschuppung). Durch Spannungen infolge Temperaturschwankungen werden Gesteine von haarfeinen Sprüngen durchsetzt (Kernsprünge), an denen die Verwitterung angreift und durch Zerstörung der Kanten und Ecken blockförmige Gebilde schafft (Wollsackstruktur).

Auch die kleineren Bruchstücke werden angegriffen und zu eckigem Schutt (Detritus)² zerlegt. Ein solches durch mechanische Einwirkung entstandenes Verwitterungsprodukt heißt klastisch. Auch durch Abgabe der Bodenfeuchtigkeit zerspringen Wüstenkiesel mit flachmuscheligen Bruche (Napfsprünge, Austrocknungssprünge). Da der Wind den Verwitterungsgrus wegbläst, werden größere Blöcke

¹ Corradere, lat., zusammenscharren, ausschürfen.

² Deterere, lat., abreiben; durch Abreibung entstanden.

freigelegt. Auch der Salzgehalt der Wüstengesteine wirkt dadurch zerstörend, daß er gelöst in die Poren eindringt und beim Austrocknen auskristallisiert und das Gefüge zersprengt. Ähnlich wirkt bei Frost das in Spalten gefrierende und sich dabei ausdehnende Wasser. Im Hochgebirge und in Polargebieten, wo die Temperatur häufig um den Nullpunkt schwankt, ist die Wirkung des Spaltenfrostes sehr bedeutend. Auch dadurch wird eine Abschuppung erzeugt. Ein Kubikdezimeter Kalkstein, der 2700 g wiegt, verliert durch den ersten Frost 0,8 g an Gewicht, Sandstein das zwei- bis dreifache.

Eine Wirkung des in oberflächlichen Klüften gefrierenden Wassers sind die unterhalb der Schneegrenze an Bergabhängen liegenden steilwandigen Ein-

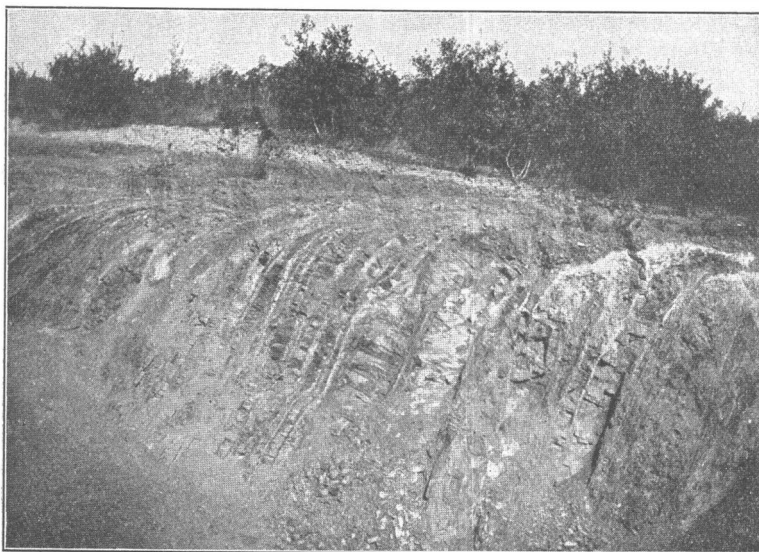


Fig. 26 Hakenwerfen im Flysch (nach einer Aufnahme von G. Götzinger)

buchtungen (Zirkusse, Kare). Auch an der Sohle der Gletscher wird das Gestein durch Spaltenfrost rasch zerstört.

Wenn die durch Verwitterung gelockerten Bodenschichten vom Wasser durchtränkt sind und dieses gefriert, dehnt es sich aus und verschiebt die lockeren Massen durch Druck. Dadurch entsteht eine langsame Bewegung, Bodenkriechen, die eine große Rolle bei der Ausbildung welliger Bergformen spielt. Die Schichtköpfe steil gestellter Bänke können dadurch umgebogen werden (Hakenwerfen, Fig. 26).

Durch die geringen Bewegungen beim wiederholten Gefrieren entstehen Frostglättungen und Gerölle werden zu Kantengeschleiben abgeschliffen. Durch Gefrieren oder Austrocknen erdigen und tonigen Materials entsteht besonders in schlammigem Boden bienenwabenartige polygonale Zerklüftung in meist fünf- bis sechseitige Platten (Schwundspalten infolge Wasserabgabe, Trocknungsrisse, Zellenstruktur).

Die chemische Verwitterung wird durch die Einwirkung der Luft infolge ihres Gehaltes an Sauerstoff, Ozon, Wasserdampf, Kohlensäure und salpetriger Säure und des Niederschlages als Tau, Regen, Reif und Schnee auf die Gesteine hervorgerufen. Das Wasser wird in seiner chemischen Wirkung durch seinen Gehalt an Kohlensäure, Sauerstoff, Salpetersäure (in den Tropen bis über 16 Milligramm im Liter) und organischen Säuren (Humussäuren) unterstützt. Was das Wasser lösen kann, entführt es, wie Kieselsäure und Silikate, Karbonate, Sulfate, Chlor- und Fluorverbindungen und beweist dadurch eine große Lösungskraft. Der schwer lösliche Rückstand enthält hauptsächlich wasserhaltige kieselsaure Tonerde und Magnesia.

Löslich ist jedes Mineral. Manche, wie die Salze, können sich an der Erdoberfläche nur in regenarmen Landstrichen erhalten und in der Erde dort, wo sie durch wasserundurchlässige Schichten vor der Auflösung geschützt sind. Der in Gesteinen häufige Salzgehalt wird durch die Sickerwässer entführt. In entwässerten (drainierten) Gebieten, in denen der Niederschlag größer ist als die Verdunstung, ist der Boden entsalzt. In Wüstengebieten wirkt das Salz, das die geringe Luftfeuchtigkeit aufsaugt, chemisch. Kalke und andere Gesteine, deren Inneres zersetzt ist, besitzen eine mehrere Zentimeter starke Hartrinde, die dadurch gebildet wird, daß die in der Bodenfeuchtigkeit enthaltenen Salze bei deren Verdunstung ausgeschieden werden. Ebenso charakteristisch sind die dünnen Dunkelrinden (Schutzrinden), Überzüge von Mangandioxyd, Eisenoxyd u. a., die dem festen Gestein eine braune bis schwarze Farbe verleihen. Sie bilden sich in kurzer Zeit, da altägyptische Denkmäler sie aufweisen. Sandsteine zeigen sie in besonderer Stärke und sie überziehen trockene Landstriche und sind durch den treibenden Sand glänzend poliert.

Gips ist schwerer löslich als Salz, wird aber von den Tagwässern stark ausgenagt (Gipsschlote). Kohlensaurer Kalk ist schwer löslich (ein Teil in tausend Teilen kohlenensäurehaltigen Wassers). Kalke, Dolomite und selbst Kieselgebilde von Organismen werden, durch das Wasser angegriffen, matt und angefressen und zeigen Körnelung, Rillen und Furchen (Korrasion); sie sind korradiert. Weitgehende Verwitterungserscheinungen des Kalkes sind die Karren, Schratten auf kahlem Fels, tiefe Furchen, die durch brettergleiche Steinwände getrennt sind.

Solche Karrenfelder sind im Hochgebirge häufig und an ihrer Bildung scheint das kohlenensäurereiche Wasser der Schneeschmelze, das lang einwirken kann, beteiligt zu sein. In tieferen Lagen, wie in den Karstgebieten ist die Zerangung unter der Vegetationsdecke (Waldböden) durch organische Säuren vollendet gewesen. In den Mittelmeerländern ist der Karst in historischer Zeit entstanden, da infolge der Abholzung die Humusschicht ihres Schutzes beraubt, durch Wässer und Wind entfernt worden ist. Die Wiederaufforstung solcher Karstlandschaften bietet die größten Schwierigkeiten. An alten Bauwerken, Skulpturen u. dgl. ist diese Verwitterung zu beobachten. Kalkstein verwittert oberflächlich in 30000 bis 70000 Jahren um einen Meter.

Das an Klüften des Kalksteines einsickernde Wasser erweitert diese durch Auflösung, es entstehen vertikale Schächte und horizontale

Kanäle, die verzweigt oft viele Kilometer lang sind und durch Erosion und Einsturz erweitert werden (besonders Höhlensysteme der Karstgebiete). Auf die Auflösung des Kalksteines sind auch die Dolinen oder Karsttrichter zurückzuführen, mehr minder kreisförmige, aber auch ganz unregelmäßige Mulden, die meist an Spalten, besonders an deren Kreuzungsstellen, gelegen sind und deren Boden von roter Erde, Terra rossa, bedeckt ist. Diese ist der zusammengeschwemmte, eischüssige, tonige Lösungsrückstand des Kalkes, ein Gemenge von Gelen von Aluminiumhydroxyd und Eisenoxydhydrat und Ton. Dolinen messen 1 bis 100 m im Durchmesser und werden bis 30 m tief. Terra rossa entsteht auch auf gehobenen Korallenriffen. Auf niederen Strandflächen kann sie durch Zersetzung von angeschwemmter vulkanischer Asche, Bimsstein usw. gebildet werden.

Sandsteine und Konglomerate mit kalkigem Bindemittel werden durch dessen Auflösung in pittoreske Felsformen zerlegt. Gerölle in Schottern werden an den Berührungsstellen mit benachbarten Geröllen durch den Druck und das sich dort kapillar haltende Wasser angegriffen und zeigen flache Gruben, sogenannte Eindrücke.

Meerwasser übt ähnliche, aber schwächere Lösungserscheinungen aus.

In Wüsten werden Kalksteinbrocken und -gerölle besonders durch die salzreichen Sickerwässer mit feinen, sich meist verzweigenden Rillen bedeckt (Rillensteine).

Ebenso bedeutend wie die lösende Wirkung des Wassers ist die zersetzende und umwandelnde, die eigentliche Verwitterung, die oft sehr verwickelte Vorgänge umfaßt. Wasserfreie Mineralien werden durch Wasseraufnahme in wasserhaltige verwandelt (Hydratisierung¹). So bildet Anhydrit unter Volumsvergrößerung um zwei Drittel Gips, wobei sich Faltungen und Stauchungen einstellen (Gekrösestein). Eisenoxyd (Roteisenstein) geht in Eisenoxydhydrat (Brauneisenstein) über. Durch Sauerstoffaufnahme (Oxydation) verwandelt sich Magnet Eisen (Eisenoxyduloxyd) in Roteisenerz, Manganoxydulkarbonat in Manganoxyd und -hyperoxyd (Pyrolusit, Psilomelan). Sulfide (Schwefelmetalle) gehen in leicht lösliche Sulfate (schwefelsaure Metallsalze, Vitriole) über, die mit kohlen säurehaltigen Wässern Karbonate bilden. Eisenkies-(Pyrit-) Lager sind oberflächlich in Rot- und Brauneisen verwandelt, der Erzgehalt ist angereichert (eiserner Hut). Kohlige und bituminöse Beimengungen, die vielfach Dunkelfärbung bewirken, verschwinden durch Oxydation, wobei sich Kohlensäure bildet. Aus Erdöl entsteht durch Oxydation Ozokerit und Asphalt.

Der Eisengehalt des Bindemittels vieler Sandsteine (z. B. des Flyschsandsteines) ist vermutlich fein verteilter Schwefelkies und wird an der Luft in Eisenhydroxyd verwandelt, während die Schwefelsäure den raschen Zerfall des Gesteins bewirkt. Die ursprünglich blaugraue Farbe wird rotbraun bis rostrot, wobei die Verfärbung von der Oberfläche gegen das Innere fortschreitet; das Gestein wird mürb und schalig zersetzt. Schließlich zerfällt es in einen Zersetzungslehm, der

¹ Hydor, gr., Wasser.

hauptsächlich aus Ton, Quarzsand und Glimmerschüppchen besteht. Kalke und Mergel weisen ähnliche Verfärbung auf, die von den feinen Haarsprünge ausgehen. Es entstehen bunte Zeichnungen, die nach der Schichtung und den Sprünge angeordnet sind (Ruinenmarmor). Die ebenfalls durch Schwefel-eisen gefärbten blauen oder blaugrauen Mergel und Tone (Tegel), verfärbten sich in den höheren Lagen gelblich oder rostrot und die Schwefelsäure verbindet sich mit dem Kalkgehalte zu Gips. In den tieferen Partien herrscht Reduktion und es bildet sich durch Einwirkung der sich zersetzenden organischen Substanzen auf Eisensalzlösungen Pyrit. Schiefer, Sandsteine und Konglomerate zeigen in Trockengebieten meist lebhafte rote, grüne und graue Färbungen infolge Eisenverbindungen, wobei die ursprünglich rote Farbe durch Reduktion in Grün und Grau übergeht.

Die am Aufbau der Erdrinde hauptsächlich beteiligten Silikate werden von den kohlen säurehaltigen Wässern zersetzt, es bilden sich Karbonate von Kalk, Kali, Natron, Eisenoxydul und Manganoxydul. Die Silikate von Tonerde und Magnesia bleiben meist als wasserhaltige Silikate (Ton und Kaolin) zurück, die deshalb größtenteils die Verwitterungsdecke bilden. Unter den feuchten Waldböden der Tropen ist die Verwitterung besonders kräftig und das Gestein wird tiefgründig zersetzt. Es bildet sich dort ein unreiner Ton (Tonerdehydrat, Laterit),¹ der durch Eisenoxyd ziegel- und fleischrot gefärbt ist. Ihm ähnlich ist der Beauzit aus früheren Erdperioden, das wichtigste Rohmaterial für die Aluminiumgewinnung.

In gemäßigt feuchtem Klima bildet sich an sanften Abhängen der Berge aus der Zersetzung kristallinischer und sandig-toniger Gesteine ein durch Sand und Brauneisen verunreinigter gelber oder brauner Gehängelehm, ein wasserhaltiges Tonerdesilikat, in dem sich Brocken des unverwitterten Gesteins (Lesesteine) finden. Diese sind oft von Wert für das Erkennen des nicht aufgeschlossenen Untergrundes. Die Verwitterungsböden sind von größter wirtschaftlicher Bedeutung, da sie die Fruchtbarkeit eines Landes bedingen. Man unterscheidet je nach den vorherrschenden Gemengteilen sandreiche Lehm böden, sandarme Tonböden, Sandböden (mit über 80% Sand), Mergelböden (Ton und Sand mit 20% und mehr Kalk), Staubböden usw. Diese Untersuchungen sind Gegenstand der Agrogeologie² (Bodenkunde), die in manchen Staaten rege betrieben wird.

Die chemische Verwitterung ist von der Menge des Niederschlages, der Dauer seiner Einwirkung, seinem Gehalte an Säuren und der Temperatur abhängig. Sie ist in warmen, feuchten Gebieten (Tropen) am größten, an der Nordseite von Bergen größer als auf der Südseite. Durch das Eindringen der Wässer an Klüften des Gesteins tritt besonders bei Massengesteinen ein Zerfall in Blöcke ein, wie die Blockgipfel in Mittelgebirgen, die Block- und Felsenmeere (Fig. 27).

¹ Later, lat., Ziegel; roter Zersetzungston.

² Agros, gr., Acker; Untersuchung der Ackerböden.

Durch den Lebens- und Verwesungsprozeß von Organismen werden Gesteine zerstört (organische Verwitterung). Sie ist von großer Bedeutung für den Haushalt der Natur, da sie den Boden, die Dammerde, Ackerkrume schafft, die dem Pflanzenwuchse Nahrung gibt.

Nitrifizierende Bakterien (Nitromonaden) nehmen Kohlensäure und Stickstoff aus der Luft auf und liefern Ammoniak und Salpetersäure. Auch Algen und einzellige Tiere greifen mit abgeschiedenen Säuren das Gestein an. In den oberflächlichen Bodenschichten treten überall Bakterien in großer Zahl auf (52 Individuen in 1 mm³), die bei der Verwesung organischer Stoffe mitwirken und Kohlensäure und Ammoniak liefern.



Fig. 27 Blockverwitterung und Pilzfelsen im Granit (nach einer Aufnahme von G. Hiesberger, Eggenburg)

Die Wurzeln höherer Pflanzen dringen in die Poren, Löcher und Spalten des Gesteins ein, die sie mechanisch durch Druck und chemisch durch Säuren erweitern. Der Wachstumsdruck sprengt die festesten Felsen. Der Pflanzenmoder, der den oberflächlichen Bodenschichten beigemischt wird, bildet den Humusboden, der gegen die Tiefe in Roherde übergeht. In Steppen bei gemäßigttem Klima bildet sich die humose Schwarzerde, in den Tropen aus den lateritischen Böden die Braunerde, die im gemäßigten Klima gelblich bis bräunlich gefärbt ist. Die magere Grauerde oder Bleicherde enthält wenig humose Substanzen. Unter der Humusschicht bildet sich oft der Ortstein, ein bis 1 m starker, bisweilen durch Brauneisen gefärbter, verfestigter Horizont, durch Anreicherung von Mineralstoffen. Er führt zur Versumpfung. In tropischem Klima entstehen mit Laterit und Braunerde

Bohnerze, in unserem Klima Sumpferze. In Südeuropa herrschen Rot- und Gelberden (Zone der immergrünen Laubwälder), Mitteleuropa hat hauptsächlich Braunerdeboden mit sommergrünen gemischten Laubwäldern und Nordeuropa weist Grauerden auf mit Nadelhölzern, Heide und Sumpflandschaft.

Auch Tiere greifen die oberflächlichen Erdschichten an und lockern sie. Würmer, Seeigel, Spongien und Konchylien bohren sich ihre Schlupflöcher in den festen Fels (Fig. 28), und korrodieren Kalkstein. Viele Nagetiere, Insekten und deren Larven durchwühlen den lockeren Boden und die Regenwürmer lockern die Ackerkrume durch ihre Wühlarbeit und den Verdauungsprozeß.

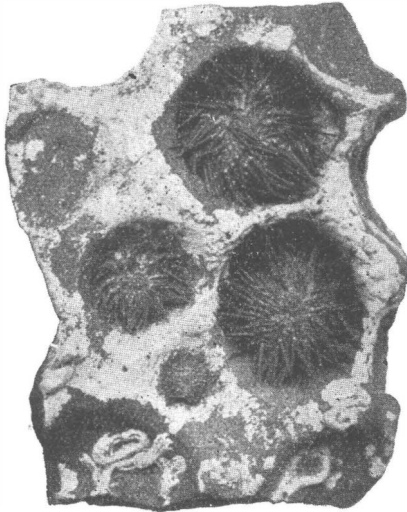


Fig. 28 Kalkstein von *Strongylocentrotus* (Seeigel) angebohrt.
(phot. Lotte Adametz)

Die physikalische Verwitterung bildet chemisch unveränderten, eckigen Schutt und Grus, chemisch werden Gesteine bis auf einen geringen Lösungsrückstand aufgelöst oder es tritt Zerfall durch Lösung des Bindemittels oder eine Änderung des chemischen Bestandes ein. Die organische Verwitterung arbeitet chemisch und mechanisch. Unter der Verwitterungsdecke liegt das anstehende (gewachsene) Gestein, d. h. das in größerer Ausdehnung und in ursprünglichem Verbands am Aufbau der Erdoberfläche Anteil nimmt.

Die Art der Verwitterung ist nach den klimatischen Verhältnissen verschieden. In den Tropen ist infolge der großen Feuchtigkeit, des Wechsels von Regen- und Trockenzeit, sowie der üppigen Vegetation besonders die chemische und organische Verwitterung kräftig und sehr rasch. Der dichte Pflanzenwuchs verhindert dabei die Abtragung der Zersetzungsprodukte, die sich bis 100 m und mehr anhäufen (akkumulative¹ Verwitterung). Im Wüstengürtel herrscht

¹ Accumulare, lat., anhäufen; Anhäufung.

physikalische Verwitterung vor und es entsteht keine besonders mächtige primäre Anhäufung, da die transportierenden Kräfte überall gute Angriffspunkte finden. In der gemäßigten Zone sind alle drei Verwitterungsvorgänge am Werke und in der polaren Region ist die Wirkung der physikalischen und chemischen Tätigkeit vorherrschend. Aber überall ist die Verwitterungsdecke meist von geringer Mächtigkeit. Der Betrag der Verwitterung ist nach den Klimaten verschieden und darnach auch das feinere Oberflächenrelief. In trockenen Gebieten erhalten sich Salzfelten, in feuchten zerfallen selbst die festesten Gesteine zu einem Zersetzungslehm. Diese Fazies¹ des Landschaftsbildes ist überaus charakteristisch.

B. Die Abtragung

Die Produkte der Verwitterung werden in den meisten Fällen durch verschiedene Kräfte entfernt, transportiert und greifen dabei den Untergrund an (Korrasion). Der Transport erfolgt durch die Schwerkraft, das Wasser, das Eis, den Wind und untergeordnet durch Tiere. Als Steinschlag stürzen im Gebirge Trümmer zur Tiefe und häufen sich als Schutthalden auf. Schuttströme wälzen sich bei Durchtränkung mit Wasser als Muren plötzlich zu Tal oder bewegen sich langsam als Bodenfließen. In trockenem Klima werden hohe Berge unter einem Schuttmantel begraben. In Tälern bewegen sich solche Massen langsam als Blockströme oder Steingletscher, besonders in kälteren Gegenden, wobei Abrundung, Glättung und Kritze auftreten, die Eiswirkung ähneln und als „pseudoglazial“ bezeichnet werden. Größere Bewegungen lockerer Massen gehen an Bergabhängen als Bergschlipfe und Berggrutsche für die Kulturen verderblich vor sich und ganze Teile von Bergen können als Bergstürze Täler weithin verschütten. In den Alpen sind in historischer Zeit 150 Bergstürze bekannt geworden, die Flüsse zu Seen stauen und ganze Dörfer vernichten können. Auf ihrer Bahn bewirken sie harnischähnliche Glättungen und die Trümmer zeigen Kritze wie von Eiswirkung.

Auch unter Wasserbedeckung erfolgen „subaquatische“ Rutschungen infolge zu steilen Böschungswinkels der Sedimente, Überlastung des Ufergeländes, Erderschütterungen oder Sinken des Wasserspiegels. Dabei tritt eine Vermengung der Ablagerungen und Faunen des seichten Wassers mit denen größerer Tiefe ein, wobei Faltungen und Überschiebungen erfolgen. Solche Rutschungen spielen wohl eine große Rolle an den steilen Böschungen der Meeresküsten, wo riesige Sedimentmassen auf weite Erstreckung in Bewegung geraten und Erdbeben auslösen können, bisweilen aber wohl die Folge von Erdbeben sind. Bei der Gebirgsbildung dürften solche Vorgänge wohl auch eine Rolle spielen.

Die Abtragung und der Transport durch die Organismenwelt sind begrifflicher Weise geringfügig. Säugetierherden können Material auf ihrer Decke entfernen, Vögel, Reptilien und Robben als verschluckte Magensteine verschleppen und manche Tiere bewirken durch Reiben ihres Vlieses an ihren Wechsellagen des Gesteins. Weidendes Vieh tritt den geneigten Wiesenboden treppenartig ab (Viehsteige) und die Tätigkeit des Menschen verändert bekanntlich das Relief der Landschaft beträchtlich.

¹ Facies, lat., Antlitz; Ausbildung einer Landschaft.

Tätigkeit des Wassers.

Die wichtigste Kraft, die die Einebnung des Reliefs anstrebt, aber dabei gerade dessen Mannigfaltigkeit schafft, ist die des bewegten Wassers. Sie ist eine Folge der Schwerkraft bei fließendem, der Gezeiten und des Windes bei stehendem Wasser. Dessen Wirkung ist über die ganze Erdoberfläche und auch im Innern der Lithosphäre verbreitet. Es ist das wichtigste Lösungsmittel und Träger gelöster Substanzen.

Die Wassermenge der Hydrosphäre beträgt etwa 1336 Millionen Kubikkilometer. Gegenüber dieser Menge verschwindet die auf dem Festlande befindliche der Seen und Flüsse, die aber gerade die größte Rolle bei der Abtragung der Erdoberfläche spielen.

Das Oberflächenwasser durchtränkt die obersten, vadosen¹ Schichten der Erdrinde. Das im Kreislaufe befindliche Wasser heißt vados. Ob die Wassermenge der Erdoberfläche beständig ist, sich vermehrt oder durch Hydratisierung von Mineralien verringert, wissen wir nicht. Durch die vulkanische Tätigkeit gelangt juveniles² (zum ersten Male auf der Erdoberfläche erscheinendes) Wasser an die Erdoberfläche. Ob Thermen juvenil sein können, ist ungewiß.

Die Verteilung des auf dem Festlande fallenden Niederschlages ist von der Lage in den Klimazonen, von der absoluten Höhe, der herrschenden Windrichtung und der Entfernung vom Meere abhängig. Die Niederschlagsmengen schwanken in weiten Grenzen; es gibt Gebiete, wo es jahrzehntelang nicht regnet; bei uns beträgt die jährliche Regenhöhe etwa 700 mm und auf den hawaiischen Inseln bis 14 m.

Die 110000 km³ Niederschlag, die jährlich auf der Festlands oberfläche fallen, stellen die Arbeit der Sonnenvärme dar, die das Wasser in Dunstform emporhebt. Unter dem Einflusse der Schwere strebt es auf dem kürzesten Wege dem Meeresspiegel (untergeordnet auch Depressionen) zu und müßte nach dem Fallgesetze eine große Geschwindigkeit erreichen. Diese ist aber nur mäßig, da es die Reibung überwinden, loses Material mitschleppen und sein Gerinne vertiefen muß. Die Strömungsgeschwindigkeit wächst sprunghaft mit dem Gefälle und von ihr ist die Schleppkraft abhängig. Bei $\frac{1}{2}$ cm Gefälle auf den Kilometer ist die Bewegung zu erkennen, bei 10 cm die Grenze der Schiffbarkeit erreicht.

Die zerstörende Wirkung fließenden Wassers auf den Untergrund wird Erosion in engerem Sinne genannt. Sie besteht im Transporte der Verwitterungsprodukte und in der durch deren Reibung verursachten Ausschürfung seiner Bahn (Korrasion). Seltene, heftige Regengüsse wirken viel stärker erodierend als anhaltende geringe Niederschläge. Die mechanische Wirkung ist auf nacktem Boden, also im Hochgebirge, in der Wüste und in Polargebieten am bedeutendsten. Der größte Teil des Niederschlages verdunstet sogleich, ein Teil fließt oberflächlich ab, ein anderer versiegt im Untergrunde und der Rest wird von der Pflanzendecke festgehalten und langsam wieder abgegeben. Diese Mengen sind

¹ Vadosus, lat., seicht, in geringer Tiefe befindlich.

² Juvenilis, lat., jugendlich, jung.

je nach der Bodenbeschaffenheit verschieden. Im Hochgebirge fließt mehr ab, in Wäldern verdunstet viel durch die Verteilung.

Feuchte Gebiete, in denen die Niederschlagsmenge größer ist als die Verdunstung, geben Wasser ab, den trockenen Gebieten, in denen die Verdunstung überwiegt, fließt Wasser zu. Es sind dies die peripheren und Zentralgebiete. Jene sind entwässert und die Wasserscheiden verzweigen sich reich bis an das Meer. In Zentralgebieten, die abflußlos sind, bilden sie geschlossene Maschen eines Netzes. In peripheren Gebieten werden die gelösten und mitgeschleppten Massen dem Meere zugeführt, es wird abgetragen. In abflußlosen versiegen die Wasserläufe oder münden in einen abflußlosen Endsee; die Produkte der Verwitterung werden zusammengetragen, die Landschaftsformen begraben. Zentralgebiete sind die Wüsten, viele Steppen, aber dazu gehören selbst vegetationsreiche Landstriche, wie z. B. im Zuflußgebiete des Kaspischen Meeres. Gebiete, die nur zur Regenzeit nach dem Meere entwässert werden, heißen Halbwüsten.

Fließendes Wasser.

Der Transport durch fließendes Wasser beginnt mit dem Auffallen der Regentropfen auf die Erdoberfläche, wo sie in weichem

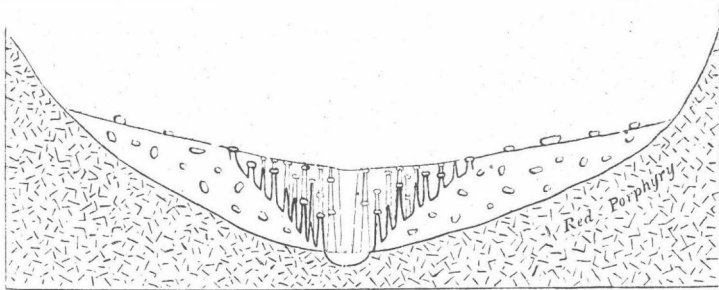


Fig. 29 Entstehung von Erdpyramiden (nach Ch. Lyell)

Boden flach-schüsselförmige Eindrücke hervorbringen. Diese können durch Erhärtung des Materials als fossile Regentropfen erhalten bleiben. Die Regenspülung nagt selbst in harten Fels Regenrillen, In leicht zerstörbarem Material, wie Sand, Schotter und Schluff, werden tiefe, verzweigte Rillen, Rachen, eingeschnitten und senkrechte Wände in Säulen, Pyramiden usw. aufgelöst. Größere Blöcke bieten den darunter liegenden Partien Schutz und geben Anlaß zur Bildung von Erdpyramiden, Erdpfeilern (Fig. 29).

Durch diese selektive¹ Erosion treten feste Bänke hervor, wodurch oft ganz bizarre Felsgebilde geschaffen werden. Der Unterschied in der Widerstandsfähigkeit der Gesteine prägt sich auch in größeren Zügen der Landschaft auf und der Geologe kann daraus sofort die Verteilung verschiedener Gesteine erkennen. Gesteinsmassen, die durch mehr minder vertikal verlaufende Klüfte (oder Gänge) durchsetzt sind, werden durch die Erosion in Felsklötze mit senkrechten

¹ Selectio, lat., Auswahl; auswählend.

Wänden zerlegt (Elbesandsteingebirge, Wekelsdorfer-Felsen, Dolomiten Südtirols u. a.). Die großen Schuttmassen werden durch Regengüsse zutal gespült und können weithin über fast horizontale Flächen durch Schichtfluten ausgebreitet werden. Die steilwandigen Täler in Trockengebieten (Wadis) sind durch die seltenen, aber heftigen Regenstürze geschaffen worden. Dort versiegen die meisten Flüsse und nur wasserreiche können einen Endsee mit schwankendem Spiegel und Umfang bilden, der aber seinem Ende durch Ausfüllung rasch entgegengeht. Nur überaus mächtige Ströme wie der Nil oder der Colorado River

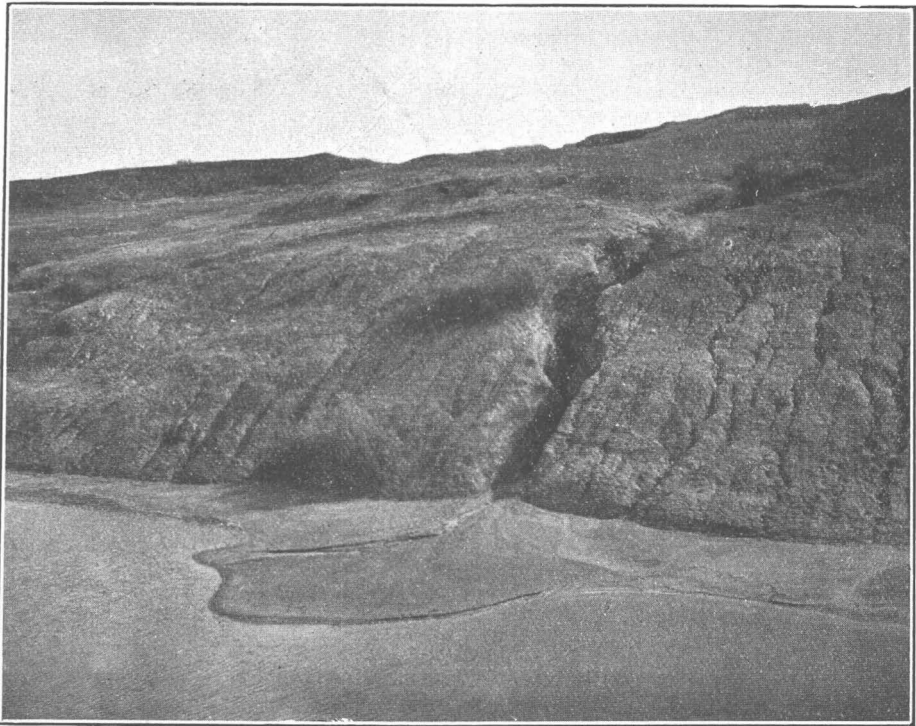


Fig. 30 Zuflußtrichter, Tobel und Delta, seitlich davon Regenrillen
(phot. F. X. Schaffer)

können eine große Wüste durchqueren, aber auch sie erleiden einen beträchtlichen Wasserverlust.

Im Hochgebirge fließen zur Zeit der Schneeschmelze oder nach heftigen Regen große Wassermassen plötzlich ab (Wildbäche, Torrente¹). Sie sammeln sich in weiten Trichtern, die überhaupt die Grundform für das Talende sind und gegen unten in eine enge Schlucht, den Tobel, übergehen (Fig. 30). An dessen Ausgang breitet sich ein Schutt- oder Schwemmkegel aus.

Das Wasser ist mit Gesteinsmaterial oft bis zu $\frac{2}{3}$ der Masse beladen und verheert als Muren die Täler, die von der Bevölkerung oft verlassen werden müssen.

¹ Aus dem Lateinischen.

Die fortschreitende Entwaldung hat die Vermurung stark gefördert und man versucht daher, durch Schutz der Vegetationsdecke mit Bannwäldern, Aufforstung und Verbauung von Rinnsalen durch Talsperren der Erosion Einhalt zu tun. Eine reichentwickelte Technik der Wildbachverbauung ist in den alpinen Gebieten im Kampfe gegen die Verwitterung am Werke und die Kraft des abfließenden Wassers wird durch Flechtwerke (Faschinen), Weidenanpflanzungen (lebende Sperren) und Trockenmauern gebrochen.

Der Transport, d. h. die Schleppkraft eines Wasserlaufes ist umso größer und die Korrasion umso stärker, je größer die gleichzeitig angreifende Wassermenge und deren Geschwindigkeit ist. Daher zeigt das Hochgebirge die stärksten Abtragungerscheinungen. Das Gefälle und damit die Strömungsgeschwindigkeit nehmen gegen den Unterlauf ab. Diese ist in großen Strömen meist nur $1\frac{1}{2}$ m in der Sekunde und schwankt mit der Wassermenge, den Hochwässern, beträchtlich. Die Geschwindigkeit wird durch die Reibung des Wassers verringert und ist im Stromstriche über der größten Wassertiefe am größten. Die Wassermenge kann zur zehntausendfachen der normalen anwachsen und eine große Kraft entfalten. Hochgebirgsflüsse haben das Minimum meist im Winter, wo der Niederschlag als Schnee fällt, Mittelgebirgsflüsse meist im Herbst. Über die ganze Erde hin kann man großartige Erosionserscheinungen erkennen, die aus den heutigen Kräften nicht erklärt werden können und aus der Zeit einer gesteigerten fluvialen Tätigkeit (Diluvium)¹ stammen. Ungewöhnlich große Niederschlagsmengen rufen Katastrophen hervor und man trachtet sie durch Anlage von Sammelbecken unschädlich zu machen, die auch dazu dienen, das Wasser für die trockene Jahreszeit zur Bewässerung und als Energiequelle aufzuspeichern.

Die Blöcke und Trümmer, die die Wasserläufe mit sich führen, werden anfänglich gerollt, zertrümmert und später mehr geschoben, abgerundet und geschliffen. Es entstehen runde „Gerölle“ und scheibenförmige „Geschiebe“, die immer mehr an Größe verlieren und kugelähnlicher werden. Ihre Oberfläche ist matt und glänzt nur befeuchtet. Ihre Anhäufung wird Schotter oder Rundschotter genannt. Das weitere Zerreibungsprodukt sind Körner von wechselnder Größe (Korn), die eckig oder abgerundet sind und als Sand bezeichnet werden. Dabei geht eine Auslese des härteren und chemisch widerstandsfähigeren Materials vor sich, so daß schließlich nur Quarz und andere Silikate, Titaneisen, Magneteisen, Glimmer, Tonflockchen u. a. erhalten bleiben. Kalke verschwinden frühzeitig. Nach der Korngröße unterscheidet man Staub (im feuchten Zustande Schlamm) unter 0,05 mm, feinen Sand von 0,05 bis 0,25 mm, mittleren Sand von 0,25 bis 0,5 mm, groben Sand von 0,5 bis 1,1 mm, sehr groben Sand von 1,1 bis 3 mm, Grand von 2 bis 3 mm, Feinkies bis 4 mm, Mittelkies bis 7 mm und Grobkies über 7 mm Durchmesser. Das Endprodukt der mechanischen Zerstörung ist wie bei der

¹ Diluvium, lat., Überschwemmung; die letzte Periode der Erdgeschichte, die in ihr entstandenen Bildungen.

chemischen feiner Sand von Quarz und anderen Silikaten, Glimmerschüppchen und Tonpartikelchen.

Das als Sinkstoff mitgeführte Material wird nach dem Gewichte und der Größe der einzelnen Gemengteile gesondert, indem zuerst die Blöcke und Gerölle liegen bleiben, dann nur mehr grober und später feiner Sand transportiert werden können. Endlich führt die sanfte Strömung nur mehr das feinste Zerreibsel als Trübung des Wassers schwebend mit. Das Verhältnis dieser Suspension,¹ zu dem auf dem Boden bewegten Material ist sehr schwankend. Der Mississippi bewegt nur 11 % auf dem Boden, die Rhône über 75 %.

Dünngeschichtete Gesteine liefern eckige, plattige, scherbenartige Bruchstücke (Plattelschotter). Aus dem Schotter eines kleinen Wasserlaufes kann man Schlüsse auf die geologische Beschaffenheit eines Gebietes ziehen, aus dem er stammt (Lokalschotter). Bei längerem Transporte verschwinden die weicheren Gesteine. Trotzdem die Donau oberhalb Wien alle größeren Zuflüsse aus den Alpen erhält, sind nur 12% der mittelgroßen Gerölle des Schotters bei dieser Stadt Kalke und Dolomite. Schließlich werden also die harten und schweren Mineralkörner in den Sanden angereichert, wie dies in den Schwemmlagerstätten (Seifen) mit Diamanten, Rubinen, Saphiren, Gold, Platin, Zinnerz u. a. der Fall ist. Die abgelagerten Massen von Schotter und Sand bilden eine mehr minder dicke Lage auf der Talsohle, das Schotterbett, in dem das Gerinne des Flusses eingeschnitten ist. Er transportiert noch im Stromstriche, aber in der seitlichen geringen Strömung, an der Innenseite von Krümmungen, im Schutze von Inseln und beim Zusammenflusse zweier Wasserläufe baut er Sand- und Schotterbänke auf, die bei Niederwasser und später ständig trocken liegen (Auen) und der Vegetation einen günstigen Boden bieten. Diese Bänke wandern flußabwärts und sind der Schifffahrt gefährlich. In den seitlichen Teilen des Schotterbettes, dem Überschwemmungs-, Inundationsgebiete,² wird nur feines Material abgelagert. Manche Flüsse haben ihr Bett über die Umgebung erhöht und sind — wie der Po und der Hoangho — eine große Gefahr für das Land.

Bei der Einmündung eines Wasserlaufes in ein stehendes Gewässer wird die Strömung gehemmt und die Sinkstoffe fallen zu Boden. Im Meere erfolgt dies infolge des Salzgehaltes sehr rasch. Es wird ein Schwemmkegel unter der Wasseroberfläche aufgebaut, der als Delta³ bezeichnet wird und sich halbinselartig vorschiebt. Seen, besonders Endseen gehen unaufhaltsam ihrer Ausfüllung entgegen.

Die Reuß lagert bei ihrer Einmündung in den Vierwaldstätter-See 548 m³ täglich ab, der Rhein wird den Bodensee in etwa 12000 Jahren, die Rhône den Genfersee in 48000 Jahren zuschütten. Die Donau bei Wien führt bis 900000 m³ Geschiebe in einem Jahre, d. i. 13 cm³ in einem Kubikmeter Wasser. Das Delta des Mississippi rückt jährlich um 113 m, das des Nil nur 4 bis 13 m vor. Die Stadt Adria, die 35 km vom Meere entfernt ist, war zu Kaiser Augustus Zeiten Seestadt. Die toskanische Niederung, die Poebene, das chinesische Tiefland und das süd-

¹ Suspendere, lat., schweben lassen; die in einer Flüssigkeit schwebenden Stoffe.

² Inundatio, lat., Überschwemmung.

³ Nach der Form des griechischen Buchstaben Delta genannt.

liche Mesopotamien sind in junger Zeit aufgeschüttet worden. Der fruchtbarste Teil Ägyptens — das Delta — ist vollständig „ein Geschenk des Nil“. Die großen Deltas, wie das des Nil mit 22000 km², des Mississippi mit 36000 km² besitzen nur eine Mächtigkeit von etwa 12 bis 18 m, die kleinen Deltas zeigen meist große Mächtigkeit, wie das der Rhône im Genfersee mit bis zu 300 m. Bei Senkung eines Gebietes erreichen fluviatile Bildungen große Mächtigkeiten (in der Poebene bis über 200 m). Flüsse rufen an ihrer Mündung einen Unterstrom hervor, der submarine Rinnen schaffen kann. Andere solche „ertrunkene Täler“ sind zu einer Zeit höherer Lage des Landes erodiert worden. Am Hudson bei New York ist eine solche Rinne bis zu 180 m Tiefe und 240 km Entfernung zu verfolgen und die des Kongo ist 1000 m tief und 200 km lang. Die Strömung großer Flüsse macht sich infolge des geringeren spezifischen Gewichtes des Süßwassers oberflächlich weit hinaus in das Meer bemerkbar. Auf 450 km färbt der Kongo die Küstengewässer und das Gelbe Meer hat auch von der tonigen Trübung seinen Namen.

Die Korrasionskraft eines Wasserlaufes hängt von der Stromgeschwindigkeit, d. h. dem Gefälle und der Wassermenge und damit

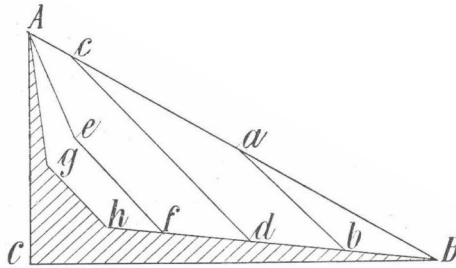


Fig. 31 Ausbildung der Gefällsterminante nach A. Philippson. $A-B$ ursprüngliches Gefälle, $A g h B$ Endgefälle, $A a b B$, $A c d B$, $A e f B$ Zwischenstadien, $a b$, $c d$, $e f$, $g h$ Torrentpartien, $A e$, $A g$ Kaskadenpartien

zusammenhängend von seiner Geschiebeführung ab. Er wird also trachten, sein Gerinne in eine parabolische Kurve zu bringen, deren jeder Teil der durch die verschiedenen Faktoren bedingten Erosionskraft entspricht, sodaß also keine Wirkung mehr ausgeübt wird. Dies ist eine ideale Linie, die Endkurve der Erosion (Fig. 31). In den Anfangsstadien und im Oberlaufe und wo härtere Gesteinspartien durchschnitten werden, ist das Gefälle oft durch steile Abstürze unterbrochen, es bilden sich Kaskaden, Wasserfälle und Stromschnellen, an deren Fuß durch Wirbelbewegung der mitgeführten Blöcke eine Aushöhlung in die Tiefe, Kolkung, ausgeübt wird. Es werden senkrechte, bis 10 m und mehr messende Löcher (Kolke, Strudeltöpfe, Riesentöpfe) gebohrt, deren Wände glatt und mit Spiralfurchen bedeckt sind.

Große Flüsse schaffen mit ihren Wasserfällen gewaltige Schluchten, wie der Niagara, der Sambesi in Südafrika und der Iguassu in Argentinien. Der Niagara stürzt 50 m herab und unterwäscht die weicheren Gesteine an der Sohle der Schlucht, sodaß die hangenden Kalke nachbrechen. Der Fall weicht 66 cm im Jahre zurück und hat in 7000 bis 36000 Jahren die 12 km lange Schlucht geschaffen und wird in etwa 70000 Jahren den oberhalb gelegenen Eriesee erreichen und damit

verschwinden. Solche Kolke entstehen auch beim Zusammentreffen zweier Strömungen oder bei Verengung des Bettes und erreichen bis 50 m Tiefe. Bei Dambrüchen bilden sich tiefe Kolke in wenigen Stunden.

Im oberen Teile eines Wasserlaufes wird zur Tiefe erodiert und das Tal erhält durch die Abböschung der Talseiten einen V-förmigen Querschnitt (V-Täler). In harten Gesteinen treten enge Schluchten, Klammen, auf. Bisweilen ist das Haupttal tiefer eingeschnitten und aus den Seitentälern stürzen Wasserfälle herab (Hängetäler). Durch rückläufige Erosion werden dann Klammen gebildet.

Im Oberlaufe ist wegen des größeren Gefälles die Erosion am stärksten, im Mittellaufe wird hauptsächlich transportiert und im Unterlaufe werden die Sinkstoffe meist abgelagert, es wird sedimentiert. Jeder Fluß sucht sein Einzugsgebiet tiefer zu legen und die Wasser-

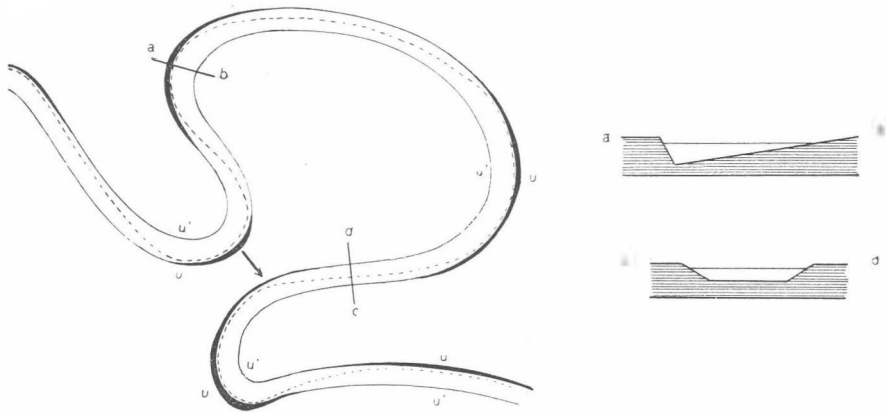


Fig. 32 Flußschlinge, die in der Richtung des Pfeiles durchrissen wird. *u* Prallufer, *u'* Anwachsufener, Stromstrich gestrichelt, Profil *a—b* in einer Krümmung, *c—d* in geradem Stromlaufe

scheide, d. i. die Grenzlinie gegen das benachbarte Flußsystem zurück zu verlegen. Der stärker erodierende Fluß wird also den schwächeren zurückdrängen, dessen Talgebiet anschneiden und womöglich durch Umkehren des Gefälles sich teilweise angliedern. Wenn ein Flußlauf in jeder Teilstrecke seine Endkurve erreicht hat, erodiert er nicht mehr und fließt in oft sich verändernden Windungen (Mäandern) dahin. Die Zuflüsse trachten ihn zur Seite zu drängen, sodaß seine Krümmungen verstärkt werden. Er unterwäscht deren konkave Seite, das Prallufer, während er an ihrer konvexen Seite sedimentiert (Fig. 32). Es bilden sich Flußschlingen, deren schmale Landbrücken oft zerrissen werden, Inseln, abgeschnittene — tote — Flußarme (Altwässer), die versumpfen und verlanden.

Auf einem Tafellande fließen die Flüsse träg in geschlängeltem Laufe und zertalen es in wasserscheidende Rücken. Diese Tafeltäler zeigen meist, besonders in Massengesteinen und horizontal gelegenen Schichten, steilwandige U-Täler,

Kanyons, mit steilwandigen Talschlüssen, die durch rückläufige Erosion verlegt werden. Deren großartigstes Beispiel ist der Rio Colorado in Nordamerika, dessen Schlucht 360 km lang, bis 1500 m tief und an der Sohle nur 100 m breit ist, im oberen Teile sich aber durch Wüstenverwitterung bis auf 20 km erweitert. Das Plateau ist in eine Unzahl von Tafelbergen, Pyramiden, Türmen und Graten aufgelöst.

Ein reifer Fluß verbreitert sein Tal, die Wasserscheiden werden abgetragen, das ganze Flußgebiet wird tiefer gelegt. Der Fluß trachtet, eine Endfläche herzustellen, mit seichten Talweiten und flachen Rücken, eine theoretische Fastebene, deren Ausbildung in der Natur aber nicht beobachtet werden kann. Infolge der Erdrotation greifen die auf der nördlichen Halbkugel fließenden Gewässer infolge Abnahme oder Zunahme der Winkelgeschwindigkeit ihrer Wassermassen bei Veränderung der geographischen Breite ihr rechtes Ufer an. Nördlich fließende Ströme unterwaschen ihr östliches, südlich fließende ihr westliches Ufer. Auf der Südhalbkugel ist die Orientierung umgekehrt. Dies ist das von Baersche Gesetz.

Hat ein Wasserlauf sein Endgefälle erreicht, tritt Erosion erst wieder ein, wenn die Wassermenge größer wird (niederschlagsreiche

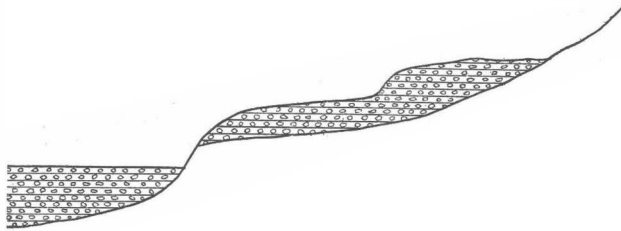


Fig. 33 Zwei ältere Auftragterrassen, darunter Einschneiden des Flusses bis auf den Untergrund und Aufschüttung eines jüngeren Schotterbettes

Periode) oder sein Gefälle wächst. Dies kann durch Hebung des Zuflußgebietes oder durch Sinken der Mündung, der Erosionsbasis, geschehen. Der Fluß schneidet sein Gerinne wieder tiefer ein und die seitlichen Teile des alten Talbodens bleiben als mehr minder ebene Terrainstufen (Terrassen) beiderseits erhalten. Durch Wiederholung des Vorganges können Systeme von Terrassen bisweilen Hunderte von Metern über die Talsohle reichen (Fig. 33). Die höheren Terrassen sind die älteren. Die Bildung eines Talbodens, also einer Terrasse, entspricht bei Flüssen, die in das Meer münden, dem Ruhezustande der Erosionsbasis, also der Strandlinie, während die Zeit der Vertiefung des Gerinnes deren Sinken entspricht. Bei geringem Gefälle, also bei großen Strömen, wird die Vertiefung des Bettes ziemlich parallel erfolgen und die Terrassen werden in gleichem Höhenabstande voneinander wie die entsprechenden hohen Strandlinien der Meeresküste, liegen. Man hat dies an einigen Flüssen, die in das Mittelmeerbecken münden, wie Rhône, Isser, Sereth, Donau, festgestellt.

Das Bild der Landoberfläche ist hauptsächlich von dem Bau des Untergrundes und von der Wirkung der Erosion durch Wasser, Eis und Wind abhängig. Die Erhaltung der widerstandsfähigen Massen ist die

Grundlage dieser Formenbildung. In horizontal geschichteten Gebieten bedingen tektonischen Linien folgende Verwerfungs-, Grabentäler, Kanyons und härtere Gesteinsdecken eine Plateau- oder Tafellandschaft. Ähnlich ist es in Massengesteinen bei trockenem Klima. Es entstehen Abtragungs- oder Erosionsgebirge. In Gebirgen unterscheidet man Längstäler, die im Streichen liegen und Quertäler, die schräg dazu verlaufen.

Schwierig ist die Deutung der Durchbruchstäler, die, aus einem tiefer liegenden Gebiete kommend, ein Gebirge durchbrechen. Sie können dadurch entstanden sein, daß ein Gebirge durch jüngere Sedimente verhüllt gewesen ist und der auf der jungen Landoberfläche fließende Fluß die überdeckte Erhebung einschnitt. Dann kann das Oberlaufgebiet eines Flusses durch Abtragung tiefer gelegt werden als die Landschaft flußabwärts oder es kann ein Gebirge quer zu einem bestehenden Flusse so langsam aufgefaltet werden, daß die Erosion mit der Hebung Schritt halten kann.

Die fluviatile Abtragung ist wegen ihrer allgemeinen Verbreitung von größter Bedeutung für die Ausgestaltung des Reliefs der Erde. Sie wirkt in der Linie der Wasserläufe, aber durch die Regenspülung flächenhaft. Der Massenverlust

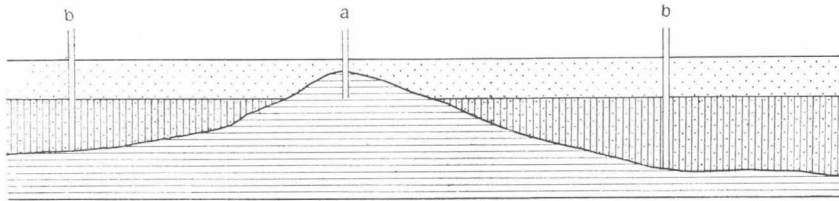


Fig. 34 Aus dem wasserführenden (senkrecht schraffierten) Sande (punktiert) ragt eine Erhebung von undurchlässigem Gestein (horizontal schraffiert) auf. Brunnen *a* gibt kein Wasser, die Brunnen *b, b* sind ergiebig.

der Festländer ist dabei beträchtlich. Die Elbe führt aus Böhmen jährlich 750 000 Tonnen gelöste und ebensoviel Sinkstoffe hinaus und trägt ihr Gebiet in etwa 43 Jahren um 1 mm ab. Der Jangtsekiang erniedrigt sein Flußgebiet um 1 m in 12 000 Jahren, der Hoangho in 4800 Jahren, die Donau in 22 000, der Po in 2400 Jahren. In Mittel- und Westeuropa wird durchschnittlich in 40 000 Jahren eine Gesteinsschicht von 1 m entfernt. Daraus ergeben sich Millionenwerte für die Abtragszeit verhältnismäßig junger Perioden der Erdgeschichte. Nach ihnen soll Europa in 7 bis 10 Millionen Jahren bis zum Meeresspiegel abgetragen werden.

Das Grundwasser

Die in den durchlässigen Boden einsickernden Tagwässer breiten sich auf der ersten wasserundurchlässigen Schicht, deren Relief entsprechend aus: Grundwasser. Dieses fehlt dort, wo undurchlässiger Untergrund über seinen Spiegel aufragt und ist in feuchtem Klima überall in mehr minder geringer Tiefe anzutreffen (Fig. 34). Es ist von der Infiltration abhängig und hebt und senkt sich mit der Jahreszeit. Es fließt dem Gefälle der undurchlässigen Schicht folgend, im Sande zirka 4 m, im Schotter bis 40 m im Tage dahin. Die Strömungsgeschwin-

digkeit steigt mit dem Porenvolumen, d. h. der Summe der Hohlräume eines Materials, ausgedrückt in Prozenten des Gesamtvolumens.

Der Grundwasserspiegel liegt in Niederungen und im Hügellande mehr minder parallel mit der Erdoberfläche und wird durch den Verlauf der Hydroisohypsen,¹ der Linien, die die Punkte gleicher Meereshöhe verbinden, angegeben. Im Schwemmlande größerer Flüsse steigt das Grundwasser vom Flusse weg an, wenn er — wie es in feuchten Klimaten meist der Fall ist — von dort Wasser empfängt. Gibt der Fluß Wasser an das Uferland ab, so senkt sich der Spiegel nach beiden Seiten, wie in Trockengebieten. Bei Hochwasser geben Flüsse Wasser an den Untergrund ab, das ihnen bei einem Tiefstande wieder zuströmt, sie speichern es also im Untergrunde auf und regulieren damit ihre Wasserführung. Wasserläufe in undurchlässiger Bette führen Hochwässer oft verheerend ab (Wildbäche), bei Trockenheit versiegen sie. Die Schwankungen des Grundwasserspiegels, also z. B. in Brunnen, folgen denen der Flüsse oft mit monatelanger Verspätung nach, die mit der Entfernung wächst. Bei Entnahme von Grundwasser aus einem Brunnen hat man die allseitige trichterförmige Senkung des Spiegels beobachtet. Bei diesen Vorgängen spielt die kapillare Steighöhe des Wassers, die ja nach dem Porenvolumen verschieden ist, eine Rolle. Sie erreicht in längerer Zeit oft mehrere Meter.

Das Grundwasser ist von großer wirtschaftlicher und hygienischer Bedeutung, da die Vegetation und die Wasserversorgung von Siedlungen größtenteils darauf angewiesen sind. Es ist meist reich an kohlen saurem Kalk und kohlen saurer Magnesia, d. h. es ist hart. Seine Härte wird in Härtegraden gemessen. Ein deutscher Härtegrad (Hd) bedeutet, daß in 100 000 Gewichtsteilen Wasser ein Teil Kalzium-Magnesium-Oxyd enthalten ist. Wasser unter 15 Hd heißt weich. Hartes Wasser hat 20 bis 30 und mehr Hd. Beim Kochen verliert es teilweise die Kohlensäure und Kalzium und Magnesium fallen als Karbonate aus. Der noch übrig bleibende Teil wird als bleibende oder permanente Härte bezeichnet. Die Härte des Wassers wird durch Zusatz einer Normalseifenlösung bestimmt, durch die die Kalzium- und Magnesiumsalze gefällt werden. Meist besitzt es gelöst Brauneisen und Mangan, die die braune bis schwarze Färbung des Grundwasserträgers (des Schotters oder Sandes) bewirken. Organische Zersetzungsprodukte, Salpetersäure, salpetrige Säure, Ammoniak, Schwefel, Chlor und andere, die gesundheitsschädlich sind, sowie Bazillen können in das Grundwasser gelangen und es zu einem gefährlichen Seuchenherd machen. Die Ausbreitung von Epidemien steht oft mit ihm im Zusammenhang. Bei der Anlage von Brunnen muß getrachtet werden, das Seiwasser fernzuhalten und nur Wasser aus tieferen Horizonten zu gewinnen, das beim Durchsickern filtriert und oxydiert worden ist und eine gleichmäßige Temperatur (etwa die des Jahresmittels des Ortes) besitzt. Die Kanalisierung der Städte verhindert Verunreinigung des Untergrundes, macht ihn trockener und keimfrei. Hoher Grundwasserstand führt zu Versumpfung und ist Ursache von Nebelbildung. Die Grundwassermenge ist durch die Zuflußverhältnisse und den örtlichen Niederschlag beschränkt. Darnach ist auch sein

¹ Hydor, gr., Wasser, isos, gr., gleich, hypsos, gr., Höhe; Linien der Wasseroberfläche von gleicher Höhe.

Stand täglichen, jahreszeitlichen (bis 1 m) und säkularen Schwankungen unterworfen. Unter Wäldern liegt infolge geringerer Infiltration sein Spiegel tiefer als unter dem Freilande. In trockenen Gegenden sinkt er sehr tief, in Texas bis 300 m, in Transkaspien bis 660 m.

Sinkt die Landoberfläche örtlich unter den Grundwasserspiegel, tritt das Wasser zutage (Grundwasserquelle) (Fig. 35). Schneidet ein Tal darin ein, so strömt das Wasser zu (Talquelle) und der Wasserlauf wird von den Seiten her gespeist. Manche (Quell-) Tümpel und Seen werden nur von Grundwasser gebildet, wie der Neusiedler-See im Burgenlande.

In kalten Ländern, z. B. Sibirien, ist das Grundwasser tief hinab gefroren (Tjäle), in trockenen steigt es infolge der Verdunstung kapillar empor und wirkt auflösend, absetzend und umwandelnd. Auch Meerwasser tritt als Grundwasser in das Land ein und bewirkt in dem Süßwasser, das auf ihm liegt, den Gezeiten entsprechende Schwankungen wie bei Lille 60 km vom Meere entfernt. Das Grundwasser wirkt besonders bei seinem Austritte erodierend und durch Nach-

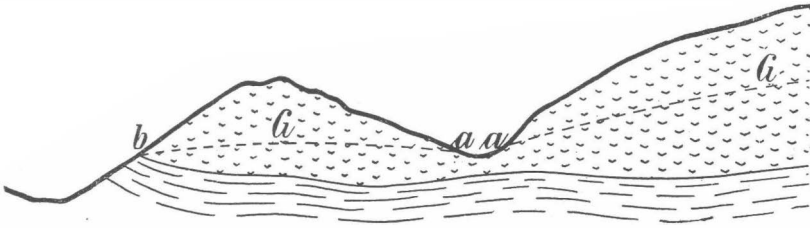


Fig. 35 Entstehung von Grundwasserquellen bei *a, a* und einer Grundwasserüberfallsquelle bei *b*. *G, G* Grundwasserspiegel in durchlässigem Gesteine, das von undurchlässigem unterlagert wird.

sinken der Hangendschichten kann es, auf einem unterirdischen Relief fließend, dieses allmählich von den Deckschichten befreien (Exhumiertes Relief). So wird das vormiozäne Relief der Böhmisches Masse in Niederösterreich bei Eggenburg und in der Wachau, im Strudengau und das altkretazische Relief bei Brünn bloßgelegt.

Karstwässer

In zerklüftetem Gesteine erfolgt die Versickerung der Tagwässer auf Spalten sehr rasch und eine große Fülle von Wasser fließt unterirdisch dahin, während die Oberfläche eine Steinwüste ist (Karstlandschaft). Dieser Landschaftstypus findet sich im Kalkstein besonders im feuchten, gemäßigten Klima bis hinauf ins Hochgebirge und auch in den Tropen. Die oberflächlichen Täler liegen mehr minder trocken. Regenrillen, Karren, Dolinen, geologische Orgeln (Karstschächte) sind in das Gestein genagt.

Flußläufe geben, wenn sie in solche Gebiete gelangen, Wasser an den Untergrund ab. Die Donau verliert bei Immendingen 4 m³ in der Sekunde und liegt an 77 Tagen im Jahre trocken. Das Wasser tritt 12,5 km entfernt und 170 m tiefer als Achquelle zutage und fließt dem Rhein zu. Diese Sauglöcher (Schwinde), durch die die Karstflüsse in das Gestein eintreten, verschieben sich flußaufwärts

und Flußstrecken werden trocken gelegt. Das versickerte Wasser schafft sich durch Auflösung und Erosion Kanäle und Höhlensysteme, die kein ausgeglichenes Längsprofil zeigen und Abstürze mit Druckleitungen (Siphonen) aufweisen. Durch Deckeneinsturz werden solche Flußhöhlen bloßgelegt und zeigen den Eintritt und Austritt des Flusses in die unterirdischen Räume durch Schlundlöcher (blinde Täler). Die Reka verschwindet bei St. Kanzian in Istrien und ihr unterirdischer Lauf ist in 70 m Tiefe in einem Einsturzkessel für kurze Zeit wieder sichtbar. Nach 25 km langem Lauf tritt sie als Timavo bei Triest an der Meeresküste zutage. Ebenso ist der unterirdische Lauf der Punkwa im mährischen Karste in dem Einsturzkessel der Mazocha sichtbar. Kleine Partien der Höhlendecke können bisweilen als Naturbrücken erhalten bleiben. Karstquellen reinigen ihr Wasser nicht, das aber, aus dem Kalkgebirge stammend, Verunreinigungen weniger ausgesetzt ist. Höhlenflüsse legen oft ihren Lauf tiefer, wodurch ganze Höhlensysteme trocken gelegt werden. Aus dauernden oder zeitweiligen Seen tritt das Wasser durch Schlundlöcher in die Höhlen ein. Diese Seen liegen zum Teil in Poljen, das sind langgestreckte Wannen, die an Brüchen in das Kalkgebirge eingesenkt sind und oft mehrere hundert Quadratkilometer Ausdehnung besitzen. Bei starkem Wasserzufluß in das Polje kann dieses vorübergehend überflutet werden, wie der Zirknitzer See in Krain, der in ein bis drei Tagen gefüllt wird, aber bis 25 Tage zur Entleerung benötigt. Solche schädigende Überschwemmungen hat man jetzt beim Kopais-See in Mittelgriechenland durch eine Kanalisierung verhindert.

Das ausgedehnteste Höhlengebiet stellt die Mammuthöhle in Kentucky und Indiana in den Vereinigten Staaten mit 350 km Länge dar. Karstgebiete gibt es in den Kalken der verschiedensten Formationen wie im Mittelmeergebiet, Istrien, Krain, Bosnien, Griechenland, Kilikien, Libanon, dann auf der Rauhen Alb, in Westphalen, Mähren, Südfrankreich, Belgien, Schottland, auf Celebes, Yukatan usw. Wie erwähnt, ist die Karsterosion unter der Vegetationsdecke entstanden, die in so vielen Karstgebieten durch Verwüstung der Wälder verschwunden ist.

Eine Karsterscheinung sind auch die Meermühlen von Fiume, Argostoli auf Kephalaria und andere, bei denen Meerwasser mit starker Strömung landeinwärts fließt. Die Ursache dieser Erscheinung ist noch nicht geklärt.

In Hochgebirgen finden sich Karstlandschaften auf vielen Kalkplateaus und das einsickernde Wasser fließt durch unterirdische Kanäle und tritt an undurchlässigen Lagen (in den nördlichen Kalkalpen oft am Werfener Schiefer) als Quellen zutage (z. B. die Hochquellen der Stadt Wien). Diese Kalkstöcke sind oft von Höhlensystemen durchzogen, die ihre einstige viel größere Ausdehnung bezeugen. So hat man in den Höhlen der nördlichen Kalkalpen Schotter von Quarzgeröllen (Augensteine) gefunden, die von den Zentralalpen aus der Zeit stammen, da die nordalpinen Längstäler noch nicht bestanden haben.

In Höhlen hat man eine eigene Fauna gefunden, die zum Teil an das Leben in der Finsternis angepaßt ist und bezeichnende Veränderungen in der Färbung (Albinismus) aufweist, wie Grottenolme, Insekten, Spinnen, Tausendfüßer und Krebse.

Quellen

Ein wechselnder Teil des Niederschlages versickert in den Klüften und Poren des Gesteins und zwar ist die Menge größer, wenn sich die Niederschläge gleichmäßig über das ganze Jahr verteilen. Die Durch-

lässigkeit des Bodens ist von großer Bedeutung für die hydrographischen Verhältnisse. Tone, Schiefer und Massengesteine sind sehr undurchlässig, Sande, Sandsteine, Schotter, Tuffe, Kalke und vulkanische Gesteine mehr minder durchlässig. Alle Gesteine sind wasserhaltig und das kapillar gebundene Wasser, das durch die Trocknung bei 110° verschwindet, heißt Gebirgs-, Berg- oder Grubenfeuchtigkeit. Das Wasser sucht möglichst tief in die Erde einzudringen, was theoretisch bis 12 000 m möglich ist, wo der Druck und die kritische Temperatur

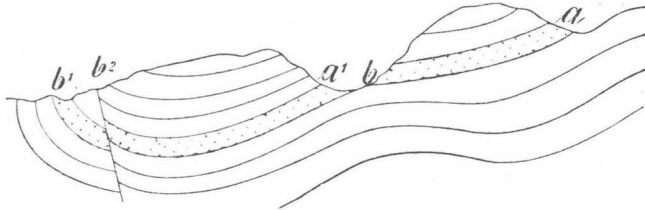


Fig. 36 Schichtquellen. Die punktierte wasserdurchlässige Schicht liegt zwischen undurchlässigen. Das bei *a* einsickernde Wasser tritt bei *b* als absteigende Schichtquelle, das bei *a'* einsickernde bei *b'* als aufsteigende Schichtquelle oder bei *b''* auf der Kluft als Spaltquelle zutage.

(365°) ein weiteres Eindringen verhindern müssen. Aber schon die tiefsten Bergwerke sind trocken.

Wechseln im Aufbau eines Landes durchlässige und undurchlässige Schichten, so wird das Tagwasser in jene eindringen und ihrem Gefälle folgen (Schichtwasser). Es steht unter hydrostatischem Drucke und folgt dem Gesetze der kommunizierenden Gefäße und tritt

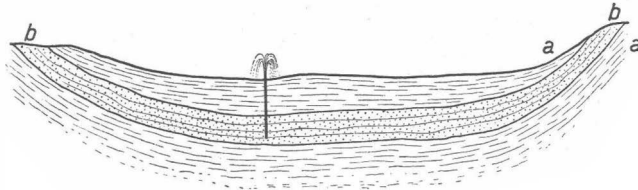


Fig. 37 Artesischer Brunnen; *a, a* undurchlässiges Gestein, *b, b* wasserführende Schicht

als Schichtquelle zutage. Absteigende Schichtquellen folgen einer Schicht von gleichsinnigem Gefälle (Fig. 36), aufsteigende oder Überfallsquellen ergießen sich aus dem aufsteigendem Aste infolge Überdruckes. Erfolgt dies an einer Verwerfung, so spricht man von Verwerfungs- oder Spaltquellen. In Flachländern kann bei muldenförmiger Anlage das Wasser unter Druck stehen und durch Bohrlöcher springbrunnenartig aufsteigen (Fig. 37), wie bei den nach der Grafschaft Artois in Frankreich genannten artesischen Brunnen. Man hat auf diesem Wege viele trockene Gebiete z. B. in der Sahara fruchtbar gemacht. Die Anzahl der artesischen Brunnen ist örtlich beschränkt, da sie einander beeinflussen.

Sandlagen, die von Wasser durchtränkt sind (Schwimmsand), werden oft dem Bergbaue durch Einbrüche gefährlich oder entleeren sich explosiv gegen die Oberfläche, wenn sie durch eine Bohrung angefahren werden.

Sickerwässer, die an Klüften in das Erdinnere eindringen, heißen Kluft- oder Spaltwässer und können als absteigende Quelle im tieferen Niveau oder unter Druck, nachdem sie in größere Tiefe gesunken sind, auf einer anderen Kluft als aufsteigende Quelle zutage treten (Fig. 38). Die Wasserbewegung geht auf Klüften oft so rasch vor sich, daß keine Filtrierung eintritt und daher das Sammelgebiet vor Verunreinigung geschützt werden muß. Alle Quellen zeigen tägliche, jahreszeitliche oder unregelmäßige Schwankungen; manche versiegen bei längerer Trockenheit oft ganz (Hungerbrunnen). Quellen, deren Temperatur der des Bodens gleich ist und mit ihr schwankt, heißen

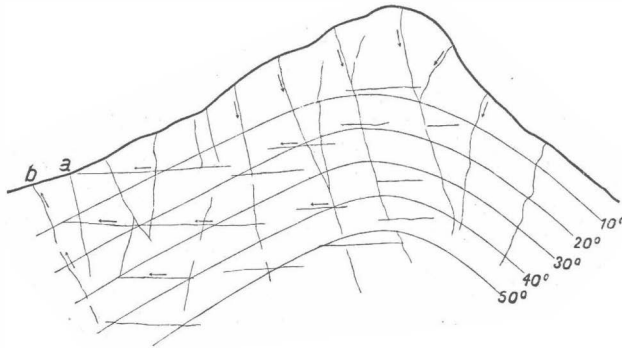


Fig. 38 Das an der Oberfläche in Klüfte einsickernde Wasser nimmt die Temperatur der Geoisothermen an und tritt bei *a* als absteigende, bei *b* als aufsteigende Quelle (bzw. Therme) zutage

Boden-, Rasen- oder Gehängequellen. Sie sind verunreinigt und als Trinkwasser nicht zu verwenden. Wässer, die aus größerer Tiefe, mindestens aus der unveränderlichen Schicht, stammen, zeigen eine gleichmäßige Temperatur, die fast dem Jahresmittel des Ortes gleich ist (Orthothermen)¹. Ist ihre Temperatur höher, nennt man sie warme oder thermale Quellen (Thermen). Theoretisch können warme Quellen durch Kondensierung des bei der Entgasung des Magmas frei werdenden Wasserdampfes in den oberen Erdschichten entstehen. Sie heißen dann juvenil. Sie besitzen gleichbleibende Temperatur und Ergiebigkeit. Bei Zufluß vadosen Wassers steigt diese, während jene sinkt. Wasser der Oberfläche kann an Spalten einsickern und in solche Tiefe gelangen, wo höhere Temperatur herrscht, die sie annehmen. Entsprechend dem Gefälle der Wasseradern, dem hydrostatischen Drucke oder wegen des geringen spezifischen Gewichtes des warmen Wassers

¹ Orthos, gr., richtig, thermos, gr., warm; die richtige, normale Temperatur besitzende Quelle.

oder wegen des Gehaltes an Gasen können sie als ab- oder aufsteigende Thermen zutage treten (Fig. 38). Die große Mehrzahl der Quellen wie Baden bei Wien, Gastein, Teplitz in Böhmen u. a. ist vados. Nur für wenige wie Karlsbad, wird eine juvenile Herkunft angenommen.

Die Temperatur von Thermen ist sehr verschieden. Manche brechen kochend hervor (Yellowstone-Park in Nordamerika, Hammam Meskoutin in Alger), Baden-Baden besitzt 86°, Wiesbaden 68°, Karlsbad 74°. Artesische Brunnen sind auch thermal, wenn sie aus größerer Tiefe stammen, wie der des Stadtwaldchens in Budapest aus 970 m Tiefe mit 74° und Schallerbach in Oberösterreich.

Thermen, die infolge starken Gasgehaltes mit lebhaft wallender Bewegung zutage treten, werden als Sprudel oder Kochbrunnen bezeichnet (Karlsbad, Nauheim). Thermen, die bis in die Quellröhre einen den Siedepunkt überschreitenden Temperatur erlangen, bilden pulsierende Springquellen, nach dem Vorkommen in Island Geysire genannt. Sie treten auch auf der Nordinsel von Neu-

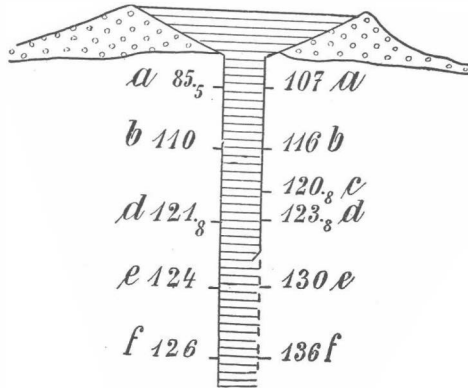


Fig. 39 Erklärung der Geysirtätigkeit (nach R. Bunsen). Die Zahlen links geben die gemessenen Temperaturen, die rechts sind die Siedetemperaturen bei dem entsprechenden Drucke. Bei c stimmen die beiden Werte überein und es erfolgt Verdampfung. An der vorspringenden Leiste scheint die Wärmezufuhr stattzufinden.

seeland, im Yellowstone-Park Nord-Amerikas und anderwärts auf und liegen in jungvulkanischen Gebieten. Im Yellowstone-Park finden sich gegen 4000 Thermen und darunter 100 Geysire. Diese liegen meist auf einem flachen Kieselsinterkegel, den sie sich selbst aufgebaut haben. Im Ruhezustande ist die Temperatur in dem vertikalen Kanale unter dem Siedepunkte und steigt gegen die Tiefe, in wo die Wärmezufuhr erfolgt. Infolge des Druckes der auflastenden Wassersäule wird der Siedepunkt erhöht, sodaß auch bei der an dem Orte herrschenden Siedetemperatur keine Dampfbildung eintritt. Erst wenn dies an irgend einer Stelle durch Überhitzung erfolgt, gerät die obere Wassersäule in wallende Bewegung und fließt über den Quellrand aus. Durch die Verdampfung wird Wärme verbraucht und das Aufkochen hört auf, worauf sich das Spiel wiederholt. Endlich ist die Temperatur und die Dampfbildung so beträchtlich, daß starkes Überfließen und dadurch eine solche Druckentlastung stattfindet, daß die Dampfbildung in einem großen Teile des Rohres plötzlich explosiv vor sich geht und ein Strahl von Wasser und Dampf springbrunnenartig hervorbrechend den Kanal größtenteils entleert (Fig. 39).

Die Größe der Geysire und die Art ihrer Eruption sind sehr verschieden. Manche schleudern einen Strahl von wenigen Metern Höhe armstark empor, bei anderen erreicht er mehrere Meter Stärke und 80 m, angeblich sogar 200 m Höhe. Einige haben regelmäßige Pausen von mehreren Stunden und springen dann mehrere Minuten, andere ruhen wochen- und jahrelang und spielen dann über eine Stunde. Manche haben nur eine halbe Minute Pause und ihr dünner Strahl erhebt sich während ein paar Sekunden.

Man kann bei Geysiren ein Nachlassen der Tätigkeit beobachten. Sie sind eine sehr veränderliche thermale Erscheinung. Ihr Wasser ist vados und ihre Tätigkeit in einer Regenperiode kräftiger. Durch Steine, die man in den Quellenmund wirft, durch Aufheben des Wassers oder Zusatz einer Seifenlösung wird infolge Störung des Ruhezustandes, bzw. Vergrößerung der Oberflächenspannung ein Ausbruch willkürlich hervorgerufen. Heiße Wasser sind oft reich an Schwefelwasserstoff und schwefeliger Säure und zersetzen Tone, vulkanische Tuffe u. dgl. zu einem mißfarbenen, oft bunten Brei, der von Sprudeln ausgeworfen wird (Schlamm-sprudel).

Wasser, besonders mit höherer Temperatur und Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff, löst auf seinem Wege durch das Gestein viele Minerale, es mineralisiert sich. Der Sauerstoff oxydiert und macht die Bestandteile löslich, die Kohlensäure bildet lösliche Bikarbonate.

Quellen, die einen größeren Gehalt an mineralischen Bestandteilen, absorbierten Gasen oder höhere Radioaktivität besitzen, heißen Mineralquellen. Sie haben entweder normale oder erhöhte Temperatur. Man unterscheidet: 1. Einfache kalte Quellen mit einer Temperatur unter 20° und unter 1 g gelöster Stoffe im Liter. Dazu gehört die Mehrzahl der Quellen. 2. Einfache warme Quellen (Akratothermen¹, Wildbäder, indifferente Thermen), Temperatur über 20°, geringer Mineralgehalt. Thermen von Gastein, Vöslau, Pfäfers, Teplitz, deren Heilwirkung auf radioaktiver Emanation beruht, 3. Karbonatquellen, Säuerlinge, reich an freier Kohlensäure; darunter erdige Säuerlinge, reich an Kalzium und Magnesiumkarbonat (Selters, Wildungen), alkalische Säuerlinge, reich an Alkalien (Preblau, Bilin, Gießhübel, Fachingen; thermal Vichy, Neuenahr); saline² Säuerlinge mit Kochsalz (Ems; thermal Kissingen, Nauheim), Eisensäuerlinge mit Eisenbikarbonat (Spa). 4. Sol- oder Kochsalzquellen (muriatische³ Quellen) mit mehr als 15 g Chlornatrium im Liter, bisweilen mit Jod und Brom (Hall in Oberösterreich). 5. Sulfatquellen mit Glaubersalz (Natriumsulfat) (Karlsbad, Marienbad, Franzensbad), Bitterwasser mit Magnesiumsulfat (Saidschitz, Püllna, Ofen-Buda), Vitriolquellen (Levico, Vitriolo, Roncegno). 6. Schwefelquellen mit Schwefelwasserstoff und Sulfiden (Aachen, Baden bei Wien, Kreuth in Oberbayern). Sie beruhen auf solfatarischer Tätigkeit oder Reduktion von Sulfaten (Gips) und Sulfiden. 7. Salzsäurequellen in Verbindung mit Chlorexhalationen. 8. Kieselsäurequellen (Geysire, Plombières in den Vogesen). 9. Radioaktive Quellen mit starker Emanation (St. Joachimsthaler Grubenwässer, Gastein).

Das Wasser besitzt für die Menschheit die größte Bedeutung als Trinkwasser, Heilquellen und für technische Zwecke und ist für den Geologen und Techniker ein reiches Arbeitsfeld. Gutes Trinkwasser muß klar, farb- und geruchlos und ohne

¹ Akrotos, gr., ungemischt, thermos, gr., warm; heiße Quellen.

² Sal, lat., Salz.

³ Muriaticus, lat., salzig.

besonderen Beigeschmack sein, die Temperatur soll nur in geringen Grenzen schwanken (6 bis 12° C). Es soll unter 20 Hd und arm an Magnesiasalzen sein. Abdampfrückstand höchstens 500 mg, organische Substanz 50 mg im Liter. Es darf kein Ammoniak, keine salpetrige Säure und keine größeren Mengen von Nitraten, Sulfaten und Chloriden enthalten und muß frei von Eisenverbindungen, Phosphorsäure, Schwefelwasserstoff und Schwefelalkalien sein. Es darf keine zur Fäulnis neigenden Organismen und keine pathogenen Keime enthalten.

Die Ergiebigkeit von Quellen schwankt nach den Niederschlägen, der Größe und dem Baue des Zuflußgebietes. Dieses muß in vielen Fällen als Schutzgebiet erklärt werden, um die Unveränderlichkeit der Quellen und Brunnen zu sichern.

Das Auftreten von Quellen ist vom Baue eines Gebietes abhängig und darnach können voraussichtlich wasserführende Horizonte und Punkte angegeben werden. Der Verlauf der Schichtung und der Klüfte zur Lage der Täler ist von grundlegender Bedeutung. Besonders Thermen und Mineralquellen liegen an Bruchlinien (Thermallinien).

Eine solche verläuft fast meridional von Gloggnitz nach Wien, entsprechend der Bruchlinie, an der die Alpen zum Wiener Becken abgesunken sind. Auf ihr liegen zahlreiche warme Quellen, wie in Meidling, Gumpoldskirchen, Baden (17 stärkere schwefelhaltige in Benutzung), Vöslau und Fischau. An der östlichen Bruchlinie des Beckens liegen bei Brodersdorf, Mannersdorf und bei Deutsch-Altenburg warme Schwefelquellen. Die nordböhmischen Thermen liegen in dem parallel dem Erzgebirge verlaufenden Bruchfelde im engen Zusammenhange mit jungvulkanischen Erscheinungen. Sie sind ein Zeichen postvulkanischer Vorgänge wie so viele andere, die in einer durch Mitteleuropa hinziehenden Zone liegen, wie Ems, Wiesbaden, Baden-Baden, Nauheim und im Osten Landeck u. a.

Das Meer

Die mechanisch wirksame Bewegung des Meerwassers beruht auf Gezeiten und Springfluten, Wasserversetzung und Strömungen, die durch Temperaturunterschiede und Winde verursacht werden und auf Wellenbewegung infolge von Winden, Erdbeben und Vulkanausbrüchen. Meeresströmungen transportieren feinstes Gesteinsmaterial. Der Golfstrom fließt mit etwa 6 km Stundengeschwindigkeit dahin und zwischen Kuba und Florida hat er den Meeresboden reingefegt. Dort findet keine Sedimentation statt. Die Gezeiten und Wellen überspülen einen Gürtel des Festlandes, der umso breiter ist, je flacher er in das Meer hinabreicht (die Schorre). Hier wird durch Verwitterung, Niederschlag, Wind, Wellen und Organismen eine starke zerstörende Tätigkeit ausgeübt. Die Wellen breiten den von den Flüssen herbeigeführten und von der Brandung erzeugten Sand und Schlamm am Gestade aus und häufen gröberes Material, Steine, Konchylien, Tange, Holz an der oberen Grenze des Wellenbereiches zum Strandwalle an. Höher hinauf wird bei starkem Wellengange der Sturmwall aufgeschüttet. Unter seichter Wasserbedeckung wird die Oberfläche von Sand und Schlamm mit langgestreckten, parallelen Wellenfurchen (Rippelmarken) bedeckt. Deren Breite schwankt zwischen 1½ cm und 2 m und sie sind auf der Luv-

seite (gegen die Wellenbewegung) flacher geböscht. Ihre Größe hängt von der Wassertiefe, der Korngröße und der Wellenhöhe ab.

Die Wellen laufen meist schräg die Schorre hinauf und dem Gefälle folgend zurück und schwemmen die mitgeführten Sinkstoffe in Zickzacklinien die Küste entlang (Küstendrift). Biegt das Ufer plötzlich in eine Bucht ein, so setzt sich die Küstenströmung geradlinig fort und baut halbinselartig eine dammartige Sandbarre (Nehring) auf, die die Bucht zu einem Strandsee abschließt (Haff an der Ostsee, Lagune in Oberitalien, Liman in Südrußland) (Fig. 40). Wenn der Sand eine



Fig. 40 Die Haffe an der Ostseeküste zwischen Danzig und Memel

Zeitlang trocken liegt, wird er vom Winde verweht und zu Dünen aufgehäuft. Diese Dünenzüge werden oft durch Springfluten zerrissen und Inselketten, wie in Friesland, geschaffen. Das dahinterliegende Land wird, wie es bei dem Dollart, dem Yadebusen und der Zuidersee in historischer Zeit der Fall gewesen ist, vom Meere überflutet.

Viel bedeutender ist die Klippenbrandung an Steilküsten, an denen das in die Klüfte gepreßte Wasser das Gefüge lockert und das zertrümmerte Gestein von den Wogen mit großem Getöse abgerollt, gerundet und zerkleinert wird (Blockstrand). Riesenkegel werden in den Felsboden geschnitten und soweit die Wogen emporschlagen, wird das Steilufer (das Kliff) ausgehöhlt (Brandungskehle). Der Gischt wird turmhoch emporgetrieben und beschleunigt die Verwitterung.

Unterhalb des Wasserspiegels breitet sich eine Strandterrasse, -Plattform, -Leiste aus. Die Brandungswellen wirken also senkrecht zur Küste flächenhaft und ihre Tätigkeit heißt Abrasion¹. Das rückströmende Wasser — der Sog — häuft die Trümmer auf der Strandterrasse zur Strandhalde an.

Der Fortschritt der Abrasion landeinwärts, also der Landverlust, ist bisweilen beträchtlich, am Kanal beträgt er etwa $\frac{1}{2}$ m im Jahre, in weicheren Gesteinen 2 bis 3 m. Im losen Material, z. B. den diluvialen Blocklehmen der Ostseeküste, ist das Werk eines Sturmes oft ebenso groß und man trachtet durch Uferschutzbauten den Landverlust zu verhindern. Die Abrasion hört auf, wenn die Strandterrasse eine solche Breite erreicht hat, daß die Wellen nicht mehr den Fuß des Kliffs erreichen. Dieser Zustand ist von der Tiefe abhängig, in der noch Abrasion stattfindet. In 32 m werden noch Gerölle, in 200 m Sandkörner bewegt. In dieser Tiefe erlischt also die Wirkung der Wellen. Nun sind die Kontinente fast allenthalben von dem Schelf, einer bis zur 200 m Tiefenlinie abdachenden Seichtwasserzone umgeben, die also wohl eine alte Abrasions-, bzw. Aufschüttungsfläche ist.

Die Brandung schafft die Einzelheiten der Küstenlinie, Buchten und Vorgebirge, die besonders reich gegliedert sind, wenn ein Faltengebirge gegen das Meer ausstreicht. Pittoreske Felsformen, Höhlen, Tore, Klippen und Pfeiler werden herausgenagt.

Wenn die Lage der Strandlinie lange Zeit unverändert bleibt, wird eine Strandterrasse geschaffen. Sinkt das Land oder steigt der Meeresspiegel (positive Bewegung der Strandlinie), so schreitet die Abrasion über das untertauchende Land fort, das Meer transgrediert und es kann eine weite Abrasionsfläche geschaffen werden, aus der härtere Gesteine als Erhebungen emporragen.

Die 30 km breite Schärenplatte der norwegischen Westküste ist ein Beispiel dafür. Bei einer negativen Bewegung der Strandlinie gelangt die Strandterrasse aus dem Bereiche der Brandung und eine neue, tiefere wird eingeschnitten, wenn ein Ruhezustand längere Zeit andauert. Wiederholt sich diese Bewegung mit Unterbrechungen (intermittierend), so wird zur Zeit des Stillstandes stets eine neue Strandlinie geschaffen und es entsteht eine Reihenfolge, deren höchste die älteste ist. Im westlichen Mittelmeere (Algier, Riviera) hat man Terrassen über solche Erstreckungen nachgewiesen, daß man ein intermittierendes Sinken des Meeresspiegels (Schwankungen) annehmen muß. In den Tälern der einmündenden Flüsse ziehen sich die entsprechenden Flußterrassen weit landeinwärts, die von der jeweiligen Lage der Erosionsbasis abhängig gewesen sind.

Auch die Gezeiten wirken an Küsten erodierend, wenn das Wasser in tiefen Buchten gestaut, mit großer Gewalt zurückfließt. An ozeanischen Inseln ist die Höhe der Flut oft unmerklich, im englischen Kanal erreicht sie 11 m, in Neufundland 21 m.

Seen

Größere Ansammlungen stehenden Wassers auf dem Festlande heißen Seen. Man unterscheidet Quellseen, die ohne größeren ober-

¹ Abradere, lat., abkratzen, abschaben; die Abtragung durch die Meereswellen.

flächlichen Zufluß einen Abfluß besitzen. Schaltseen haben eine ausgeglichene Bilanz im Zu- und Abflusse und bei Endseen überwiegt die Verdunstung oder die Wasserabgabe an den Untergrund den Zufluß, ihre Bilanz ist negativ.

Seen entstehen durch Abdämmung fließenden Wassers (Stauseen von meist geringer Lebensdauer), Nehrungen, Strandwälle und Korallenriffe können Meeresteile abtrennen, die durch Süßwasserzufluß teilweise ausgesüßt (brackisch) werden (Abdämmungsseen, wie Haffe, Deltaseen, Atollseen). Austiefungsseen bilden sich in Vertiefungen der Erdoberfläche, wie Kraterseen, Dolinenseen, Erosionsseen (durch die kolkende Wirkung des Wassers gebildet), Karseen des Hochgebirges (auf Gletschererosion oder Auflösungserscheinungen zurückzuführen). Durch Gletscherschurf sind zahlreiche Tal- und Randseen der Alpen wenigstens in ihrer letzten Ausgestaltung geschaffen worden. Tektonische Seen, wie z. B. der Gardasee, sind an Bruchlinien eingesenkt. Die Ostsee und die großen Kanadischen Seen sind in ihrer Anlage durch Einwölbung der Erdrinde geschaffen worden. Auch der Wind kann flache Wannen ausblasen. In den durch Abschnürung vom Meere entstandenen Reliktenseen¹ (Kaspi-, Aralsee) findet man eine überlebende marine Fauna, Seehunde, Fische, Krustazeen, Mollusken, Medusen (Reliktenfauna).

Wenn an einem Endsee die Verdunstung überwiegt, sinkt der Wasserspiegel und es bilden sich tiefere Strandterrassen. Bei überwiegendem Zufluß steigt der Spiegel an und es werden höhere Terrassen geschaffen. So wissen wir, daß der große Salzsee in Utah, der heute nur 12 m tief ist, im Diluvium einen um 300 m höheren Stand und eine elfmal größere Oberfläche besessen hat. Abflußlose Seen zeigen meist eine Anreicherung an gelösten Mineralstoffen, besonders Salzen (Salzseen). Auch in Seen bilden sich Deltas und Nehrungen.

Tätigkeit des Eises

Unter normalem Druck gefriert Wasser bei 0°. Der kondensierte Wasserdampf der Atmosphäre kristallisiert hexagonal als Reif, Hagel, Graupen oder Schnee aus. Nach der geographischen Breite und der Meereshöhe gibt es Gebiete, wo nie Schnee fällt, wo Regen oder Schnee fallen und andere, wo der Niederschlag stets gefroren ist. Als Schneeregion werden Gebiete „des ewigen Schnees“ bezeichnet, in der die Wärme des Sommers nicht ausreicht, den Schnee des letzten Winters zu schmelzen. Sie sind von der Schneegrenze (Schneelinie) eingeschlossen.

Diese senkt sich vom Äquator gegen die Pole, reicht in den Anden und im Kuen-Luen über 6000 m, im südlichen Himalaya infolge der feuchten Seewinde bis 4600 m, an der Südseite der Alpen liegt sie zwischen 2700 und 3000 m und an der Nordseite zwischen 2500 und 2700 m. Sie erreicht nirgends den Meeresspiegel.

Innerhalb der Schneegrenze würden sich die Schneemassen anhäufen, wenn sie nicht durch Verdunsten, Schmelzen und den Wind und in großen Massen als Lawinen stückweise und plötzlich, oder langsam

¹ Relictus, lat., zurückgelassen.

mit innerer Veränderung der Masse als Gletscher (Ferner) entfernt würden. Die Lawinen sind Staublawinen von pulverigem, trockenem Schnee und Grundlawinen, die bei Tauwetter als feuchte Massen mit Blöcken, Schutt und Bäumen verheerend talwärts gleiten. Diese erreichen bis 1 Million Kubikmeter und man trachtet, ihre Bildung durch Anpflanzungen, Bohlenwände u. dgl. zu verhindern.

Der Schnee, der über Sommer liegen bleibt, verwandelt sich durch wiederholtes, teilweises Schmelzen und Wiedergefrieren in ein Aggregat von Eiskörnern (Firn). Er verliert seine lockere Beschaffenheit, da er auf $\frac{1}{8}$ der ursprünglichen Masse zusammenbackt. Durch den eigenen Druck wird er zu weißem, porös-schaumigem Firneis. Entsprechend dem Gefälle werden große Massen von Firneis talwärts gepreßt und an der Firnlinie, die etwas tiefer liegt als die Schneegrenze, tritt der Gletscher als zungenförmiger geneigter Eisstrom aus der Schneedecke hervor. In den tieferen, wärmeren Tälern schmilzt er oberflächlich und an seinem unteren Ende ab. Über der Firnlinie liegt das Nährgebiet, wo sich die Schneemassen ansammeln, unterhalb herrscht Abschmelzen vor (Zehrgebiet). Wie ein Strom fließt der Gletscher der Tiefenlinie folgend dahin (Tal-gletscher, alpiner Typus). Kleinere Gletscher, die in der Schneeregion an steilen Hängen liegen, heißen Hänge-gletscher. In den Alpen gibt es etwa 1200 Gletscher, darunter 250 Talgletscher (Fig. 41).

Nach Klima, Höhe des Gebirges und Schneezufuhr ist die Masse der Gletscher sehr verschieden. Der Aletschgletscher ist der größte in den Alpen mit 24 km Länge, einer mittleren Breite von 1800 m und 129 km² Oberfläche und 11 km³ Inhalt. Der Pasterzengletscher am Großglockner, der größte der Ostalpen, hat 10,5 km Länge, 400 bis 1200 m Breite und 32 km². Sein Gefälle ist etwa 13°. Im Himalaya erreichen Gletscher 60 km Länge. Ihre Mächtigkeit dürfte 400 bis 500 m betragen.

Wo sich Nachschub und Abschmelzung das Gleichgewicht halten, liegt das Gletscherende als steiler Abbruch, bisweilen mit einer Öffnung an der Sohle, dem Gletschertor, aus dem der Gletscherbach tritt. Alpengletscher reichen bis 1100 m hinab, im Himalaya bis 3000 m. In Britisch-Kolumbien senkt sich einer bereits unter dem 58. Breitengrad, in Chile unter dem 47. Breitengrad (also in der Breite der Alpen) bis zum Meeresspiegel, den sie polwärts meist erreichen. Gletscher vereinigen sich wie Flüsse, doch tritt keine Mischung der Massen ein.

Die Bewegung des Gletschers geht wie die des Wassers unter dem Einflusse der Schwere nur bis mehrere millionenmal langsamer vor sich. Im Sommer ist sie bis fünfmal schneller als im Winter und sie wächst mit der Neigung des Bettes, der Firnzufuhr und der Masse des Gletschers. Am Pasterzengletscher beträgt sie 6 bis 43 cm im Tage. Andere alpine und die skandinavischen Gletscher bewegen sich rascher. Im Himalaya erreicht sie 4 m, an der Westküste Grönlands 32 m.

Das Fließen des Eises wird durch die Regelation (das Wiedergefrieren) bewirkt. Durch Druck wird nämlich seine Schmelztemperatur herabgedrückt und es schmilzt auch bei einer Temperatur unter

0°. Sobald der Druck aufhört, tritt Wiedergefrieren ein und die ganze Masse fließt plastisch nach der Richtung des geringsten Druckes. Es kann dabei seichte Mulden durchfließen, also auf kurze Strecken sich aufwärts bewegen.

Die Korngröße des Gletschereises wächst von Erbsen- bis Faustgröße und sein Porenvolumen nimmt ab, wobei es grünlichblau und durchscheinend wird.

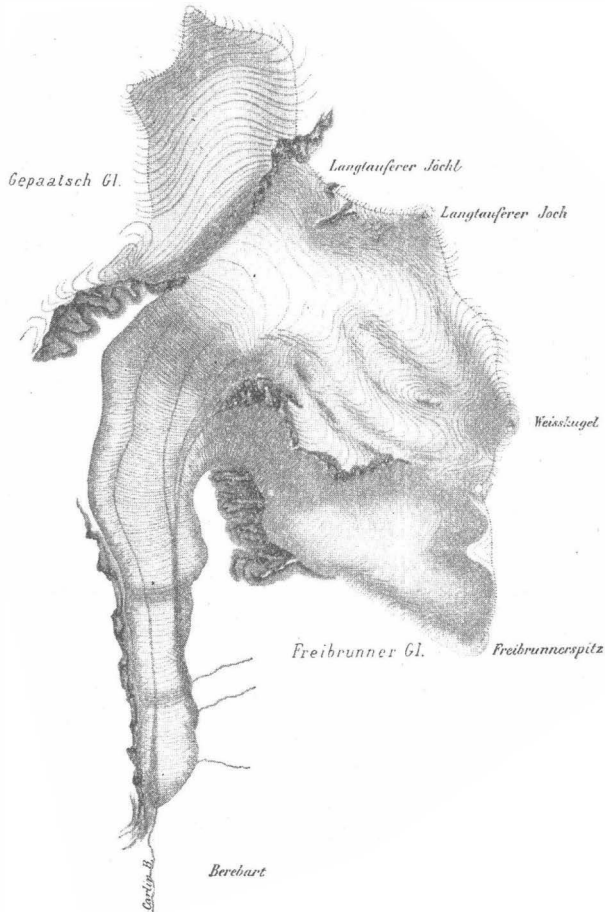


Fig. 41 Nähr- und Zehrgebiet des Langtaufener Gletschers, Tirol
(nach K. v. Sonklar)

Durch den Druck erhält es eine Art Druckschieferung. Die Mitte des Gletschers bewegt sich rascher als die randlichen und tieferen Teile.

Das Gletscherende rückt bei größerer Geschwindigkeit, d. h. stärkerem Nachschube (Gletschervorstoß) vor. Bei vorwiegendem Abschmelzen zieht es sich zurück. Feuchteres, kühleres Klima bewirkt ein Vorrücken, trockenes, wärmeres einen Rückzug. Diese Schwankungen gehen in den Gletschern der Erde ziemlich gleichzeitig vor sich, so daß

sie auf eine gemeinsame Ursache deuten. Empirisch hat man aus der Geschichte der Alpengletscher eine durchschnittlich 35 jährige Periode der Klimaschwankungen festgestellt. Der jährliche Rückzug hat an einem Beispiele etwa 34 m im Jahre betragen und der jährliche Volumsverlust beim Pasterzengletscher 7 Millionen Kubikmeter. Das Eis schmiegt sich seinem Bette an. Da es in der Mitte rascher fließt, entstehen Randspalten (Fig. 42), die unter einem Winkel von etwa 45° vom Rande aus gegen die Mitte talaufwärts verlaufen. Sie schließen sich immer wieder beim weiteren Vorrücken. An einer Bodenstufe fließt die Eismasse rascher dahin, es bilden sich Querspalt en senkrecht zur Bewegungsrichtung, die sich unterhalb wieder schließen. An sehr steilen Abhängen entsteht ein Trümmerwerk von Eismassen (Gletscherbruch) mit oft bizarren Eisformen (Serac).

Der Gletscher greift den Untergrund an, transportiert und lagert ab. Daß Gletscher erodieren (Gletscherschurf), ist festgestellt, nur

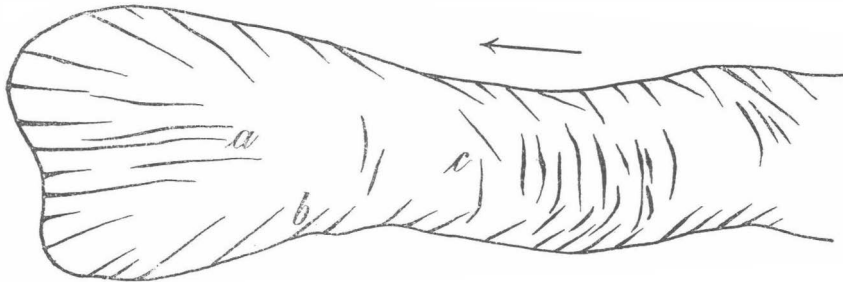


Fig. 42 a Längsspalten, b Randspalten, c Querspalt en im Gletscher

über den Betrag dieser Abtragung gehen die Meinungen auseinander. Besonders durch die mitgeführten Schuttmassen werden die Talwände und die Talsohle abgeschliffen, flache, längliche Buckeln (Rundhöcker) geschaffen und Felstrümmer werden ausgebrochen, doch sind die dadurch verursachten Materialverluste gering und betragen nur Bruchteile von 1 mm im Jahre. Genaue Messungen könnten erst nach dem nächsten Gletschervorstoße vorgenommen werden.

Gletscher geben ihren Tälern einen sehr charakteristischen Querschnitt mit flacher Talsohle und steilen Wänden (Trogtal, U-Tal) (Fig. 43). Viel kräftiger wirkt der Spaltenfrost an der Gletschersohle. Der Gletscher schiebt den Verwitterungsschutt und die Vegetationsdecke vor sich her und häuft einen Stirnwall auf. Viel größer ist die Arbeit des Gletschers als Transportmittel bei Schuttmassen, die von den Talwänden herabstürzen. Bis 3000 m^3 messende Blöcke sind beobachtet worden. Das Material wird in langen Schuttwällen an den Seiten des Gletschers aufgehäuft (Seitenmoränen, Fig. 44). Diese werden beim Abschmelzen des Gletschers als Trümmerwälle (Ufermoränen) auf den Talseiten zurückgelassen. Seitenmoränen erreichen 10 bis 20 m, Ufermoränen bis 100 m Höhe. Beim Zusammenfließen

zweier Gletscher vereinen sich die zusammentreffenden Seitenmoränen zu einer Mittelmoräne (Fig. 44), die als oft mächtige Wälle dahinzieht. Jeder weitere Seitengletscher fügt eine neue Mittelmoräne hinzu. Sie



Fig. 43 Das Lauterbrunnental in der Schweiz, U-Tal mit Hängetälern, aus denen sich Wasserfälle in das Haupttal ergießen. Man beachte die deutliche „Schulter“ an beiden Talwänden (nach einer käuflichen Photographie).

erreichen 40 m Höhe und 200 m Breite. Ihr Material ist eckig und nicht nach der Größe gesondert. Unter dem Gletscher liegt eine dünne Schicht

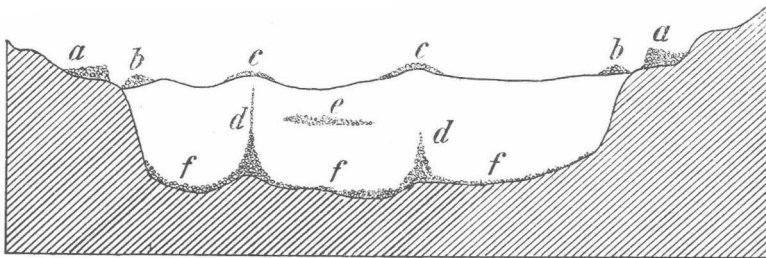


Fig. 44 Querschnitt durch einen Gletscher; *a* Ufermoräne, *b* Seitenmoräne, *c* Mittelmoräne, *d* Scheide-(Einscharungs-)moräne, *e* Innenmoräne, *f* Grundmoräne

von Schlamm und Sand mit Geschieben, die Grundmoräne (Fig. 44), deren Material vom Untergrunde oder von der Oberfläche stammt. Ihre Trümmer werden durch den Druck der Eismassen bei der langsamen

Bewegung geglättet, abgeschliffen und mit ein bis drei mehr minder ebenen Flächen versehen (Facettengeschiebe). Der Schlamm (Geschiebelehm) wirkt als Poliermittel auf die Scheuersteine und den Untergrund (Gletscherschliff). Scharfe Ecken und Gesteinskörner ritzen, schrammen die geglätteten Flächen des Felsens parallel und die der Geschiebe unregelmäßig. Die Grundmoräne wird vom Eise weitergeschoben und von den Schmelzwässern fortgeführt (Gletschertrübe). Am Ende des Gletschers vermengt sich das Material der Oberflächen- und Grundmoräne und es entsteht die Endmoräne (Stirnwall), die meist talwärts konvex gekrümmt ist. Sie erreicht bis 100 m Höhe und wird vom Gletscherbache durchbrochen. Durch das Abschmelzen an der Oberfläche werden im Eise befindliche Gesteinstrümmer bloßgelegt und erheben sich bisweilen als Gletschertische auf einem Eissockel. Gletscher können auf ihrem Rücken das erratische Material auf kurze Strecken bergauf und über Senken des Reliefs hinwegtransportieren.

Schmelzwässer der Oberfläche stürzen durch Spalten zur Tiefe und kolken mit Hilfe von Scheuersteinen Strudellöcher, Riesentöpfe, Gletschermühlen bis 10 m tief und mit schraubenförmig ausgescheuerten Wänden. Im Kalkgebirge wird der feine Kalkschlamm der Gletschertrübe als Bergkreide, Bergmilch, Gletscherkreide abgelagert. Vor der Endmoräne wird ein fluvioglazialer Schuttkegel ausgebreitet.

Der norwegische Gletschertypus zeigt Firnfelder von tafelförmiger Gestalt, die das Gebirgsrelief verhüllen und von denen kurze, breite Gletscher nach allen Seiten zutal fließen. Er ist in arktischen Gebieten häufig und eng mit dem Inlandeise verbunden.

Das Inlandeis

In Grönland und auf dem antarktischen Kontinent häufen sich die Schneemassen zu ausgedehnten schildförmigen Eisdecken auf. Das grönländische Binneneis hat gegen 2 Millionen Quadratkilometer Ausdehnung, ist etwa 1000 m mächtig und bewegt sich gegen den Rand, reicht aber nicht bis an die Küste. Nur in den Tälern fließen die Gletscher, die bis 150 km breit werden, mit einer täglichen Geschwindigkeit von über 30 m in das Meer. Einzelne Spitzen des begrabenen Gebirges (Nunataker) ragen aus dem bis 3500 m ansteigenden Eismantel hervor. In der Randzone, wo der Schnee im Sommer schmilzt, bedeckt eine dünne Schicht von Kryokonit (zum Teil kosmischem Staub) weite Flächen (siehe S. 20). Die Grundmoräne ist eine überaus mächtige Lage von Blocklehm. Die Gletscher reichen mit bis über 100 m hohen Wänden in das Meer hinein und brechen mit gewaltigem Donner ab (kalben) und schwimmen als Eisberge frei auf das Meer hinaus. Nur etwa ein Neuntel der Masse des Eisberges ragt aus dem Wasser empor, so daß ein 45 m hoher etwa 360 m tief taucht. Sie führen eingefrorene Gesteine der Grundmoräne mit sich (Eisdrift), die beim Abschmelzen auf dem Meeresboden verstreut werden. Die Neufundlandbank in Nordamerika ist durch strandende und schmelzende Eisberge aus dem 2600 m tiefen Meere zu einer 260 m messenden Untiefe aufgeschüttet worden. Eisberge werden besonders Schiffen gefährlich, wenn sie infolge Abschmelzens ihre Lage verändern.

Auf dem antarktischen Festlande hat das mächtige Inlandeis eine Ausdehnung von 13 Millionen Quadratkilometern (Europa zirka 9 Millionen Quadratkilometer), erreicht 3300 m Höhe und schiebt sich mit etwa 1 m täglicher Geschwindigkeit in das Meer hinaus. Es tritt 500 km weit von der Küste hinaus und bildet in dem Roß-Meer eine 850 km lange Eismauer von 30 m (früher 60 m) Höhe (Barrière-Eis). Früher ruhte diese Tafel auf dem Boden auf und heute lösen sich von ihr bis 60 Meilen im Durchmesser haltende tafelförmige Eisberge mit senkrechten Wänden und deutlicher Schichtung los. In einer 150 km breiten Zone liegt vor dem Festlande das anscheinend unbewegliche Schelfeis auf dem Meeresgrunde.

Die Gletscherlandschaft

Die einst vereist gewesenen Gebiete zeigen sehr bezeichnende Oberflächenformen. Dazu gehört das U-Tal (Trogtal), dessen Wände so weit hinauf geglättet sind, wie die Eismasse reicht, dann folgt das Gehängeknie (Schulter) und darüber der von der atmosphärischen Verwitterung angegriffene Abhang. Hängetäler bilden Wasserfälle über übertieften Haupttälern. Die Talsohle wird von steilen Abstürzen, Talstufen unterbrochen, ihr Felsuntergrund zeigt Rundhöcker, ist geglättet und geschrammt, Mittel-, Rand- und Endmoränen bilden Wälle oder bedecken das Tal mit eckigem Schutt (Moränenlandschaft). Stirnmoränen umwallen flache Mulden, in denen Seen liegen, wie die großen Moränenamphitheater der Dora Baltea bei Ivrea und das Südende des Gardasees. Blocklehme und Geschiebemergel bedecken die Talsohle oder breiten sich im Vorlande aus.

Die Gletscherlandschaft zeigt ruhige Linien, die Verwischung kleinerer Unebenheiten, aber die Verstärkung der größeren, eine Vereinfachung des Reliefs. Der größte Teil der Alpenseen ist in ihrer schließlichen Form durch Gletscherschurf geschaffen. Sie liegen im Gebirge, wie die des Salzkammergutes und Kärntens, am Rande wie die des bayrischen oder schweizerischen Vorlandes oder noch halb im Gebirge wie die oberitalienischen, z. B. der Gardasee. Ihre Tiefe ist im Verhältnis zur Ausdehnung gering, beim Starnbergersee 1 : 180. Manche Glazialerscheinungen sind, vom Gebirgsbau unterstützt, besonders hervorstechende Züge des Landschaftsbildes, wie der Gardasee mit dem inselartig aufragenden Monte Brione oder durch starke Zerklüftung des Gesteins gefördert wie das Yosemiteal in Kalifornien, wo die bis 1500 m hohen, vertikalen, glattgescheuerten Wände und die domartigen Bergformen auf Absonderungsflächen des Granites zurückzuführen sind. Am Fuße von Gefällsstufen oder beim Zusammenflusse zweier Gletscher kann eine Übertiefung ausgekolkt werden, wie die bis 200 m tiefe im Gasterentale in der Schweiz, durch die der Wassereinbruch in den Löschbergtunnel verursacht worden ist.

Kare, d. s. zirkusartige, talwärts geöffnete Mulden an Talenden, sind oft von Karseen eingenommen und wohl durch Spaltenfrost vorgezeichnet und durch das Eis ausgeschürft. Vergletschert gewesene Küstengebiete zeigen stark zerschnittene felsige Ufer und ertrunkene Trogtäler mit Übertiefung und seitlichen Hängetälern (Fjorde). Vielleicht haben die Gletscher diese aber auch submarin erodiert. Ähnliche, nur viel größartige Erscheinungen sehen wir in den vom Inlandeis bedeckt gewesenen Gebieten, wie in der norddeutschen Tiefebene. Dazu gehören die Åsar (Sing, Ås, spr. Os), bis 100 km lange Schuttwälle subglazialer

Wassergerinne, Stirnmoränen, die ein paar hundert Meter hoch und Dutzende von Kilometern breit das Land durchziehen, die ausgedehnten Heidelandflächen des Sandr, die Bändertone, die als feiner Schlamm in Wasserbecken abgelagert worden sind und Urstromtäler, die ganz andere Abflußverhältnisse verraten (vgl. Abschnitt Diluvium).

Das Inlandeis wirkt ausgedehnt, flächenhaft schürfend und ablagernd. Weite Landstriche im östlichen Kanada, in Lappland, Finnland und im östlichen Schweden sind von ihm glatt gehobelt und die norddeutsche Tiefebene und weite Gebiete des nördlichen Rußland bis 200 m mächtig mit dem Materiale der Grundmoräne aufgeschüttet worden. In allen Gebieten einstiger Vergletscherung trifft man erratische Blöcke, Findlinge, die aus Gestein bestehen, das in der Nähe nicht vorkommt. Sie erreichen mehrere tausend Tonnen Gewicht und zeigen den Weg, den das Eis genommen hat. Glazialer Schutt weist keine Sonderung nach Größe und Gestalt, aber nach der Herkunft und daher Gesteinsart.

Wassereis, Steineis

Stehendes Süßwasser gefriert bei einer Temperatur unter Null Grad. Bei Windstille kann es unterkühlt werden. Es ist eine parallele Verwachsung langprismatischer hexagonaler Kristalle, deren optische Achsen senkrecht zur Abkühlungsfläche liegen. Unter einer Eisdecke nimmt die Temperatur mit der Tiefe bis 4° C zu, bei der das Wasser die größte Dichte erreicht. Durch den Wind und die Strömung werden Eisschollen transportiert und können das Ufer angreifen. Auf Flüssen können sie zu einem Eisstoß zusammengeschoben werden, der Überschwemmungen verursacht. Auf dem Boden von Wasserläufen bildet sich Grund- oder Bodeneis, das porös schwammig ist und Gesteinsmaterial eingeschlossen hat.

Meerwasser gefriert bei — 2,5°, wobei der Salzgehalt ausgeschieden wird. Es wird 2 bis 3 m, selten über 4 m stark. Seine Schollen werden zusammengepreßt und übereinandergeschoben und bilden das bis 15 m starke Packeis. In hohen Breiten, Sibirien, arktisches Nordamerika, entsteht aus den aufgehäuften Schneemassen das körnige Schnee-Eis und bildet, mit Sand und Lehm vermengt, das Boden- oder Steineis, die Tjäle. Der Boden taut im Sommer nur wenige Fuß tief auf. Bei Irkutsk hat man in 116 m Tiefe noch — 3° gemessen und die gefrorene Schicht ist sicher 200 m stark. Die sibirischen Inseln sind größtenteils aus Bodeneis gebildet, in dem man Kadaver und viele Skelette von Mammut findet, von denen die Hauptmenge des in den Handel kommenden Elfenbeins stammt.

Höhleneis

In Höhlen mit einem Eingange, die abwärts geneigt sind, oder mit zwei Eingängen, wenn sie aus einem horizontalen unteren Stollen und einem aufwärts führenden Schlotte bestehen, kann sich die schwere, kalte Luft ansammeln und Eisbildung durch die Sickerwässer eintreten (Eishöhlen mit Eisstalaktiten, Vorhängen usw.). Solche finden sich im Dachstein, im Tennengebirge und anderwärts.

Schnee und Eis besitzen im Haushalte der Natur große Bedeutung, da sie die Niederschläge langer Zeiten aufspeichern und entweder langsam an den Boden abgeben oder bei rascher Schneeschmelze Hochwasser verursachen. Die chemische Wirkung des Schmelzwassers ist infolge seines größeren Kohlensäuregehaltes bedeutend.

Tätigkeit der Luft

Die Abtragung in der Wüste

Erst vor kurzer Zeit hat man erkannt, daß die Oberflächenformen der Wüste nicht aus der Vorzeit der Erde stammen, sondern daß die trockene Verwitterung, der Wind und seltene Regenstürze sie heute noch schaffen. Die Luft wirkt zerstörend und aufbauend. Sie greift mit ihrer Feuchtigkeit und ihrem Gehalte an Sauerstoff, Kohlensäure und anderen Gasen die Gesteine an. Viel stärker wirkt sie mechanisch zerstörend, wo die Erdoberfläche nicht vom Wasser, Schnee oder einer Pflanzendecke geschützt ist. Im Hochgebirge und in den beiden Wüstengürteln, die sich an den Wendekreisen um die Erde schlingen, ist die Wirkung der bewegten Luft am größten. Loses Material, Staub und Steine werden fortbewegt und zur Tiefe gestürzt. Infolge von Abblasung erfolgt Nachbruch von Gesteinsmassen.

In Wüsten ist diese Wirkung noch größer. Deren Grenzen sind durch die Verteilung der Meere, der regensammelnden Gebirge und die Richtung der regelmäßigen Winde bedingt, die geringen Niederschlag und große Verdunstung bewirken. Der Schutt der physikalischen Verwitterung würde sich anhäufen, wenn er nicht entfernt würde. Dies geschieht gelegentlich durch heftige Regengüsse und periodische Wasserläufe. Das feinkörnige Material wird von den Winden aufgewirbelt und fortgeführt (Deflation), die infolge der starken Temperaturschwankungen und großen örtlichen Luftdrucksunterschiede sehr heftig sind.

Mit der Windgeschwindigkeit wächst die Größe der bewegten Sandkörner. Bei etwa 10 m Sekundengeschwindigkeit werden Körner von 1 mm Durchmesser bewegt und bei 50 m kann Sand von Erbsengröße und darüber fortgetragen werden. Feiner Sand wird schwebend bewegt (eckiger Flugsand), größere Körner hüpfend und rollend und sie werden dabei abgerundet. Sand- und Staubstürme verdunkeln oft die Sonne, wie der Samum der Sahara, der Chamsin der lybischen Wüste. Aufsteigende Luftwirbel sind mit Material beladen (Sandhosen, Tromben). Weht der Wind vorwiegend in einer Richtung, werden große Sandmassen fortgeführt. Der Passatstaub an der afrikanischen Westküste macht die Luft unsichtig. Der rote Staub der Sahara wird bis Schweden getragen und durch Regen niedergeschlagen (Blutregen). In Italien sind bei einem Südsturme etwa 1,3 Millionen Tonnen Staub gefallen. In den Steppen Chinas, den Badlands Nordamerikas ist die Luft oft tagelang getrübt und die Sonne scheint gelb oder blutrot.

Das Material wird durch die Luft gesondert, das leichtere entführt, das schwerere bei wechselnder Windrichtung hin und her geweht. In der Steinwüste (Hamada) ist der Boden festes Gestein, reingefegt und die Luft stets klar. Der Wind kann die Oberfläche nicht angreifen, da härtere Gesteinslagen bloßgelegt sind. Die Felswände sind mit Löchern bedeckt, Säulen, Pilzfelsen, Wackelsteine, Felstoren bleiben erhalten. Das Gebiet ist in übereinander ansteigende Terrassen aufgelöst, Schichtstufenlandschaft, die in der Sahara bis 2500 m hohe Gebirge bildet. Weichere Gesteinspartien werden rascher zerstört, steilwandige Täler schneiden in das Plateau ein und randliche Teile werden als tafelförmige und pyramidenförmige Inselberge (Gura = Zeugen genannt) losgelöst. Die Trocken-

täler (Wadis, Uadis) zeigen Spuren fließenden Wassers, da sie bisweilen von Hochfluten durchströmt werden. Oft besitzen sie einen Grundwasserstrom. Durch die Deflation können abflußlose Rinnen und Mulden gebildet werden. Wenn sie sich dem Grundwasserspiegel nähern, entstehen fruchtbare Oasen. In der Kieswüste (Sserir), sind auf einer Gesteinsoberfläche abgerundete Kieselgerölle und Konkretionen angehäuft, die aus dem Gestein herausgewittert sind. Wo der Wind erlahmt, entstehen Anhäufungen von reinem, meist wohlabgerundetem Quarzsand. Es bildet sich die Sandwüste, das Areg aus. Durch Auslese sind nur widerstandsfähige Mineralien, vor allem Quarz erhalten. Die rote und braunrote Farbe rührt von der oberflächlichen Färbung der Körner durch Eisenhydroxyd und Eisenoxyd her.

Der Sand wird meist in rücken- oder kuppenförmigen Erhebungen, Dünen, abgelagert, deren Entstehung und Gestalt eine Wirkung des Windes ist. Ihre Grundform ist die Sicheldüne (Barchan Transkasiens), die sich an geringen Hindernissen der Oberfläche bildet, ein hufeisenförmiger Sandhaufen, der gegen die Windrichtung (im Luv) flach geneigt ist und im Lee verlängerte Seitenflügel zeigt. Aus ihnen

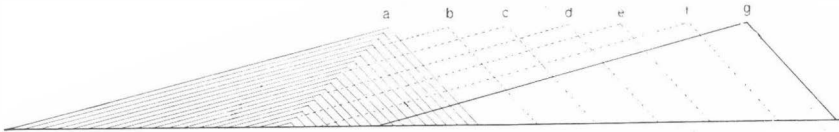


Fig. 45 Schematische Darstellung des Baues und des Wanderns einer Düne, a—g aufeinanderfolgende Lagen des Kamms

bilden sich durch Verschmelzung langgestreckte Dünenzüge, die durch neu angetriebenen Sand nach oben und den Seiten wachsen (Fig. 45).

Die Böschung ist im Luv 5 bis 10°, höher oben 15 bis 20°, im Lee über 30°. Es entsteht oft eine vom Scheitel beiderseits abfallende Schichtung parallel den Flanken infolge verschiedener Größe und Schwere der Sandkörner (Dünenschichtung). Es sind dies die Querdünen, senkrecht zur herrschenden Windrichtung. Sie bedecken oft Tausende von Quadratkilometern, werden in der Sahara bis 200 m hoch, mehrere hundert Meter breit und 70 bis 80 km lang. Ihre Oberfläche ist von Rippeln, ähnlich dem Gekräusel der Wellen oder den Wellenfurchen am Grunde seichter Gewässer bedeckt. Die Höhe und Breite einer Düne ist von der Größe der Sandkörner und der Windstärke abhängig und ändert sich mit diesen. Bei stärkerem Winde wird der oberste Teil abgetragen, der Sand im Lee angehäuft und der Kamm ein Stück vorwärts gerückt. Die Düne wandert in der Windrichtung und überschreitet die vor ihr liegende Fläche. Ihr Fuß bleibt zurück und durch wiederholtes Aufbauen und Abtragen entsteht in ihrem Innern ein Wirrwar von rasch auskeilenden, schräg geschichteten Bänken (Diagonal- oder Kreuzschichtung). Die Fortbewegung erfolgt oft rasch, bis 30 m im Jahre und bei wechselnder Windrichtung in den Jahreszeiten rückt sie vor und zurück.

Die Wüste überflutet wie das Meer mit ihren Sedimenten das Land und das feinkörnige Material wird besonders in den Randgebieten abgelagert, wo der Wind erlahmt und es durch die Pflanzendecke, besonders durch die Grasnarbe der Steppen festgehalten wird. Es bildet den Lößboden, der die Spuren der Vegetation, besonders feine Röhren zeigt, die von verwesenen Halmen und Wurzeln herrühren. Wo sich Staub ohne Vegetationsdecke anhäuft, entsteht die Tonwüste, die durch Regen eine festgebackene Oberfläche erhält (Takyrboden Transkasiens, Sebcha Nordafrikas). Der Boden zeigt eine Zerlegung in polygonale Platten durch Austrocknung, die Fährten darüber schreitender Tiere, Eindrücke von Regentropfen, Grübchen platzender Gasblasen u. dgl. In den aus leicht zerstörbaren Sandsteinen, Mergeln und Tonen aufgebauten Gebieten ist die Erosion besonders kräftig und das Land in pittoreske Gebilde aufgelöst (z. B. die Bad Lands Nordamerikas).

Der Sand, den das Meer, Seen oder Flüsse am Ufer anhäufen, gibt Anlaß zur Dünenbildung. Die Küstendünen ziehen in Europa von

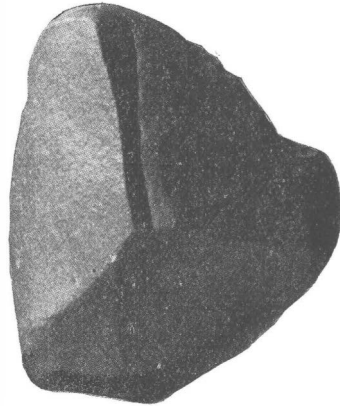


Fig. 46 Dreikanter (phot. Lotte Adametz)

den Pyrenäen bis nach den Ostseeprovinzen mit 40, 50 ja 90 m Höhe, eine bis 6 km breite Zone einnehmend. Der Sand ist geschlemmt und daher staubfrei, zeigt gelbliche Färbung und besteht vorwiegend aus Quarz, Feldspat, Hornblende und Augit. Die Nehrungen, die die Haffe abtrennen, sind ganz aus Sand aufgebaut und Siedlungen und Kulturland werden von den Dünen begraben und die Haffe verlanden. Der Dünenbau, ein Zweig der Kulturtechnik, sucht daher mit Flechtwerken und Schaffung einer Pflanzendecke die Fortbewegung der Dünen zu verhindern.

Neben der Deflation wirkt der Wind auch abscheuernd (aeolische¹ Korrasion), wenn er, mit Staub und Sand beladen, Gesteine glättet und poliert. Diesem Wüstenlack verdankt die Wüste ihre Farbenwirkungen. Gerölle erhalten durch Sanddrift zwei oder mehr glatte Schliefflächen (Kantengeschlebe, Facettengeschlebe) (Fig. 46).

¹ Aiolos, griech., der Gott der Winde; von Winden herrührend.

Härteunterschiede des Gesteins, wie Adern und Versteinerungen, werden herausgearbeitet. Der Sphinx bei Gizeh zeigt so weitgehende Zerstörung der weicheren Gesteinslagen, daß sein Hals durch einen Eisenbetongürtel verstärkt werden mußte. Die Abtragung in trockenen Gebieten schreitet bis zum Grundwasserspiegel fort. Es handelt sich dabei um große Massen von Material. In Asien sind 1,3 Millionen Quadratkilometer von Löß bedeckt, dessen Menge auf 40000 km³ geschätzt wird.

Es ist sehr wichtig für das Erfassen der Landschaftsformen zu erkennen, welche Kräfte ein Relief geschaffen haben. Mit der Deutung dieser Fazies der Landschaft beschäftigt sich die Morphologie oder Morphogenie, die Lehre von der Entstehung der Oberflächenformen. Diese sind Struktur- oder Skulpturformen, je nachdem sie vom inneren Bau oder der Erosion abhängig sind. Die chemische und physikalische Verwitterung, der Wind, das Wasser und das Eis arbeiten in absteigender Reihenfolge die Feinheiten des Reliefs heraus (Selektive Erosion). Der Wind wirkt flächenhaft, das fließende Wasser an verzweigten Linien, die Brandung in ihrer langen Erstreckung senkrecht zum Ufer, der Gletscher breitsöhlig und das Inlandeis in kontinentaler Ausdehnung. Wind, Brandung und Inlandeis können ideale Ebenen schaffen. Wind und Eis sind auf klimatische Gebiete beschränkt, die Brandung wirkt an allen Küsten und fluviiale Erosion ist über die ganze Erde verbreitet. Der Typus eines Landschaftsbildes wird durch eine vorherrschende abtragende Kraft bestimmt: Gletscherlandschaft, Deflationsgebiet, Erosionsrelief; aber diese Kräfte wechseln zeitlich an demselben Punkte. Die Wüste überzieht drainiertes Land, das Meer ertränkt ein Festland und dringt in Zentralgebiete ein, Gletscher formen Flußtäler um, es zeigt sich überall ein Wandern der Fazies der Landschaft. Das ideale Endziel der Abtragung ist eine in etwa 200 m unter dem Meeresspiegel gelegene Abrasionsfläche (absolute Endfläche). Der Gesamtbetrag der jährlichen Abtragung wird auf 16 km³ geschätzt, wovon zwei Drittel der fluviolen Tätigkeit und fast ein Drittel der chemischen Abtragung zufallen. Die Landoberfläche wird dadurch um etwa $\frac{1}{10}$ mm erniedrigt, der Spiegel des Meeres durch die Aufhäufung der Sedimente um 0,044 mm erhöht, die Höhe des Festlandes also um 0,154 mm verringert.

Immer mehr erkennt man aber, daß das heutige Relief an vielen Punkten, vor allem auf alten Festlandsmassen aus fernen geologischen Zeiten stammt und nur durch die Entfernung jüngerer Sedimentschichten bloßgelegt, denudiert wird. Es sind fossile¹, exhumierte Landschaftsformen.

C. Bildung der Absatzgesteine

Wo die transportierenden Kräfte erlahmen, werden die abgetragenen Gesteinsmassen abgelagert. Sie bilden die Stratosphäre², die aus Absatzgesteinen aufgebaut wird.

Die Absatzgesteine umfassen 1. die aus einer meist wässerigen Lösung ausfallenden chemischen Ablagerungen oder Präzipitate³,

¹ Fossilis, lat., ausgegraben.

² Stratum, lat., Schicht, sphaera, gr., Kugel, Zone der Schichtgesteine der Erdrinde.

³ Praecipitare, lat., herabstürzen; Niederschlag.

2. die durch den Lebensprozeß von Tieren und Pflanzen gebildeten organogenen¹ Ablagerungen oder Biolithe² und 3. die aus einer Anhäufung fester Bestandteile gebildeten Sedimente³.

Fast alle Absatzgesteine zeigen Schichtung, die durch Unterbrechung, Verzögerung oder Beschleunigung des Absatzes oder durch Wechsel in der Beschaffenheit des Materials bewirkt wird. Dadurch werden senkrecht zur Richtung der Schwerkraft, die den Absatz hervorruft, also horizontale Absonderungs-, Auflagerungsflächen geschaffen. Die von zwei solchen Flächen eingeschlossene Gesteinsmasse von meist geringer Dicke heißt Schicht, die Flächen daher Schichtflächen, ihre Entfernung voneinander Stärke oder Mächtigkeit. Durch die Schichtflächen wird ein Absatzgestein in Lagen oder Bänke, bei wirtschaftlich wichtigen Mineralien Flöze, geteilt. Sie heißen dann geschichtet oder gebankt (Schichtgesteine). Man spricht von dickbankigen (etwa über $\frac{1}{2}$ m) dünngeschichteten oder blätterigen Ge-

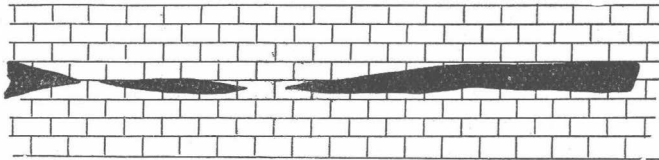


Fig. 47 Auskeilen, Wiederaufsetzen und Abschneiden einer Schicht, linsenförmige Einlagerung

steinen. Ungebankt ist ein Schichtgestein nur in Hinsicht des Aufschlusses, wenn man die Schichtflächen nicht sieht. Eine Schicht wird in ihrer Erstreckung oft stärker, schwillt an oder nimmt ab oder verliert sich ganz (sie keilt aus) und kann wieder auftreten (aufsetzen) (Fig. 47). Eine allseitig rasch auskeilende Bank heißt Linse, wenn sie sehr dünn ist, Lasse oder Schmitze. Die über einer Schicht liegende Gesteinsmasse heißt das Hangende, die darunter befindliche das Liegende. Sie bilden zusammen eine Schichtfolge (-reihe, -komplex). Eine Schicht verschiedenartigen Materiales heißt man eingelagert, bei ihrem wiederholten Auftreten in verschiedenen Niveaus spricht man von Wechsellagerung. In einem Profile, das ist in dem Querschnitte einer Schichtfolge, etwa an einer Felswand, zeigen sich die Schichtflächen als Fugen zwischen den einzelnen Bänken. Treten Schichten an der Erdoberfläche zutage, so sagt man, sie streichen zu Tag aus. Wie bei den Dünen tritt bisweilen schräg zur Hauptschichtung eine untergeordnete Diagonal- oder Transversalschichtung oder

¹ Organogen, organon, gr., Werkzeug, Organismus; von Lebewesen stammend.

² Bios, gr., Leben, Lithos, gr., Stein; durch Lebensprozeß entstandenes Gestein.

³ Sedimentum, neulat., Absatz, Niederschlag.

ein vielfacher Wechsel der Schichtungsrichtung in Bänken übereinander auf (Kreuzschichtung) (Fig. 48).

Präzipitatgesteine

Zu diesen gehören Wasser und Schnee, die sich aus dem Wasserdampfe der Luft niederschlagen. In Lösung befindliche Mineralstoffe fallen aus, wenn der Sättigungspunkt des Lösungsmittels, meist des Wassers, überschritten wird. Dies geschieht durch Verdunstung, Abgabe von Gasen wie Kohlensäure, die die Lösungskraft erhöhen, Tem-

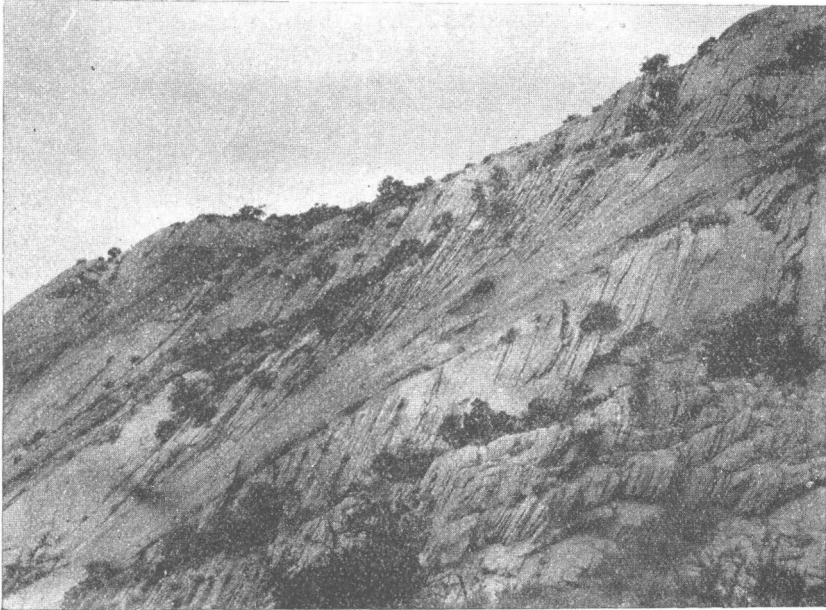


Fig. 48 Kreuzschichtung in Sandstein, Badlands von Utah, U. S. A. (phot. F. X. Schaffer)

peraturabnahme oder durch chemische Reaktion mit einem anderen beigemengten löslichen Mineralstoffe.

Das Meerwasser ist weitaus die wichtigste Minerallösung mit einem durchschnittlichen Salzgehalte von 34 Teilen in 1000 Teilen Wasser, darunter 27 Teilen Natriumchlorid (Kochsalz), drei Teilen Magnesiumchlorid, zwei Teilen Magnesiumsulfat, einem Teil Kalziumsulfat (Gips) u. a. Im abgeschlossenen Mittelmeere steigt der Salzgehalt auf 3,9 %, im Roten Meere auf 4,3 %. Es kann also im Meere kein Absatz von Salzen stattfinden. Erst bei Abdampfung von 1000 Gewichtsteilen auf 533 ist das Eisenoxyd gefällt, bei 190 Gewichtsteilen der kohlensaure Kalk, bei 30 G. T. der Gips, bei 16 G. T. der größte Teil des Kochsalzes und es bleiben noch die Mutterlaugensalze in Lösung: Magnesiumsulfat, Chlormagnesium, Bromnatrium und Chlorkalium. Meerwasser gibt

also bei Abdampfung eine Salzschrift von $\frac{1}{67}$ seines Volumens und größere Salzengen können nur durch seine Abdampfung in abgeschlossenen Lagunen bei fortwährendem Zufluß gebildet werden. (Barrenhypothese).

Regenwasser besitzt einen verschwindenden Salzgehalt, aber die Wässer der Oberfläche laugen Gesteine aus und lösen diese entsprechend ihrer Löslichkeit, vor allem den weitverbreiteten kohlensauen Kalk. Das Meerwasser ist reich an Sulfaten und Chloriden und kalkarm und kann seinen Salzgehalt nicht nur durch die Flüsse erhalten haben.

Die Verdunstung in Endseen beträgt bis 4 m im Jahre und sie erreichen einen hohen Salzgehalt, wobei Kalk, Gips und Kochsalz und zuweilen auch andere Salze ausgeschieden werden. Unter Druck in 10 m Tiefe wird der schwefelsaure Kalk als Anhydrit gefällt. Der Salzgehalt des Karabogas-Busens im Kaspisee erreicht 18 %, des Salzsees von Utah 22 %, des Toten Meeres 26 %. Zur Regenzeit wird die Sole verdünnt und es wechseln Schichten von Gips und Salz wiederholt. Seen

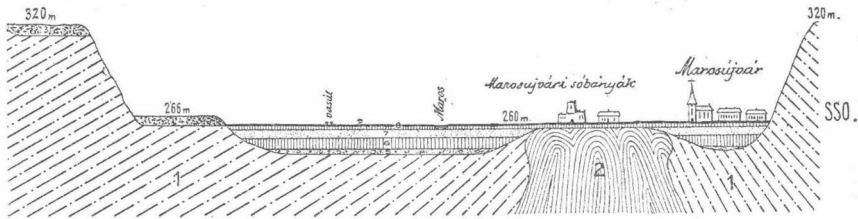


Fig. 49 Profil durch einen Salzstock (nach Th. Kormos); 1 Salztou, 2 Salzstock, 3—4 alte Terrassen der Maros, 5—9 Alluvium

werden zu Salzsümpfen eingedampft, es entstehen Salzsteppen und Salzwüsten. In abflußlosen Gebieten können die verteilten Salzmassen aufgelöst und örtlich in großer Mächtigkeit abgelagert werden. Dies ist der Fall gewesen mit den durchschnittlich 300 m mächtigen Salzlagern, die vom Niederrhein bis an die russische Grenze und von Hamburg bis an die Fulda unter der deutschen Tiefebene liegen. Dort sind auch die leicht löslichen Mutterlaugensalze (Edel-, Kalisalze) abgelagert, wie Polyhalit ($K_2 SO_4 \cdot Mg SO_4 \cdot 2 Ca SO_4 \cdot 2 H_2 O$), Kieserit ($Mg SO_4 \cdot H_2 O$), Carnallit ($KCl \cdot Mg Cl_2 \cdot 6 H_2 O$), die sich nur bei einer Temperatur ober 40^0 oder durch Ausfrieren oder Aufsaugen durch Sand bei großer Trockenheit ausscheiden.

Die Salzlager sind meist durch Salztou (Haselgebirge der Alpen) vor der Auslaugung durch Sickerwässer geschützt. Quellen, die aus solchen Gebieten stammen, sind salzig (Solen). Anhydrit verwandelt sich bei Aufnahme von Wasser unter einer Volumsvermehrung um zwei Drittel in Gips (Gekrösestein). Salzmassen werden durch Umkristallisieren unter Druck derauflastenden Schichtenemporgepreßt (Salzauftrieb) und bilden Salzstöcke (Fig. 49) mit starken Faltungen.

Salz ist das einzige Mineral, das als Nahrungsmittel notwendig ist und wurde daher schon in vorhistorischer Zeit abgebaut oder durch Abdampfung von Meerwasser in Salzgärten gewonnen. Kalisalze besitzen als Düngemittel eine große Bedeutung.

Der Salzgehalt der Salzseen ist sehr verschieden, wie Natriumkarbonat, Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10 \text{H}_2\text{O}$) oder Natriumsulfat, Glaubersalz ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O}$) in den Natron- oder Sodascen Ägyptens und anderer Orte, Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$) in den Boraxseen Nevadas und Kaliforniens. Chile- oder Natronsalpeter (NaNO_3) findet sich in Peru am Rande austrocknender Seen und dürfte durch pflanzliche und tierische Stoffe gebildet sein. Am Meeresstrande und in Seen bilden sich durch Kalkabsatz um Luftblasen, Staubkörner u. dgl. Kügelchen (Kalkoolithe), die sandartig zu Dünen aufgehäuft werden.



Fig. 50 Kalksinterterrassen von Hammam Meskutin, Alger, von oben gesehen (nach einer käuflichen Photographie).

Viel mannigfaltiger sind die Absätze fließender Gewässer, besonders Quellen. Dazu gehören auch die Ausscheidungen der verdunstenden Bodenfeuchtigkeit in den oberflächlichen Erdschichten, wie Kalk, Gips, Salz, Kalisalpeter in Trockengebieten, die Naßgallen, d. s. schlammige Stellen im Ackerboden unserer Gegenden mit schwefelsaurer Magnesia und schwefelsaurem Kali.

Kalte, kalkhaltige Gewässer setzen bei Temperaturabnahme oder Verlust der Kohlensäure meist Kalkspat, warme Aragonit ab. Der faserige Sprudelstein (Aragonit) ist von den Karlsbader Thermen in Klüften unter Druck abgesetzt worden. Erbsenstein (Pisolith)¹

¹ Pisos, griech., Erbse, Lithos, griech., Stein; Erbsenstein.

bildet sich durch Kalkabsatz um Sandkörner und Gasblasen in sprudelndem Wasser. Kalksinter wird von heißen Quellen abgelagert, die über Terrassenstufen herabstürzen. Solche Kalkkaskaden werden bis 100 m hoch von zahlreichen kleinen, stufenförmig angeordneten Wasserbecken gebildet und Algen und Bakterien überziehen das Weiß des Sinters mit bunten Farben. Man kennt sie aus Algier, Kleinasien, aus dem Yellowstone Park in Nordamerika und Neuseeland (Fig. 50).

An Wasserfällen wird unter Mitwirkung verwesender Pflanzenreste Kalktuff abgelagert, wie bei Tivoli unweit Rom der Travertin. An Kaskaden kann sich ein Sinterdamm aufbauen, der den Fluß staut, wie an den Kerkafällen in Dalmatien. In Quellen und unter Wasserstürzen bilden sich Oolithe¹. Sie zeigen konzentrisch schalige und



Fig. 51 Radialstengeliger und konzentrisch-schaliger Querschnitt eines Stalaktiten (phot. Lotte Adametz)

radialfaserige Struktur. In Höhlen des Kalkgebirges sind die Wände durch das überrieselnde Wasser mit Kalksinter überzogen. Die an der Decke verdunstenden Tropfen bilden schlanke, hängende Zapfen mit konzentrisch schaliger und radial stengeliger Struktur (Stalaktiten) (Fig. 51), denen vom Boden aus durch die auffallenden Tropfen meist breitere schalige Stalagmiten entgegenwachsen. Solche Tropfsteine bilden Säulen, Vorhänge und andere Gebilde, wie in den Höhlen von Adelsberg, Blansko in Mähren und vielen anderen (Fig. 52).

Geysire setzen unter Mitwirkung von Algen Kieselsinterkegel ab, Eisensäuerlinge Massen von Eisenocher (Limonit). Brauner Glaskopf bildet Stalaktiten. Pisolithischer Limonit und Bohnerze sind Quellbildungen, ebenso Schwefel durch Einwirkung des Sauerstoffes der Luft auf den Schwefelwasserstoff des Wassers, weiters Sulfate wie Gips, Baryt und Sulfide wie Eisenkies, Blende, Bleiglanz, Zinnober u. a. Blasenräume in Massengesteinen werden durch Sickerwässer und Dämpfe mit

¹ Oon, griech., Ei; eihnliche Gesteinsbildung.

Kristallen ausgekleidet und bilden Hohldrüsen, Kristallkeller oder werden ganz ausgefüllt. Kalkspat, Aragonit, Schwerspat, Natrolith,

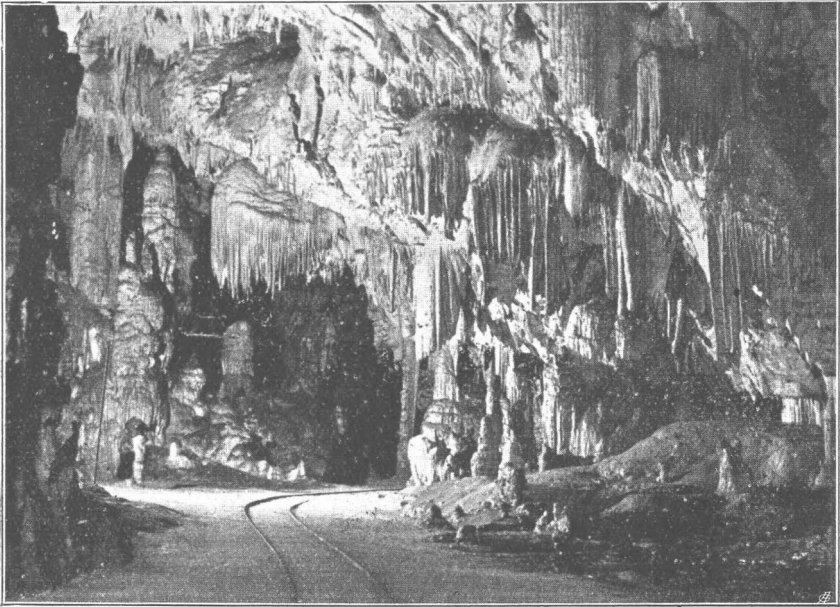


Fig. 52 Partie aus der Adelsberger Grotte (nach einer Photographie von M. Schäber, Adelsberg)



Fig. 53 Mangandendriten auf einer Schichtfläche (phot. Lotte Adametz)

Quarz und Achat werden so gebildet. Chemische Überzüge von Eisen- und Manganoxyd auf Kluftflächen des Gesteins sind auch die Dendriten,¹ die oft fälschlich für pflanzliche Reste angesehen werden (Fig. 53).

¹ Dendron, gr., Baum; baumförmige Zeichnung.

Besonders in Kalkgebirgen bilden sich in Höhlungen Anreicherungen (Butzen, Nester) von Erzen, wie Galmei, Limonit, Blende, Bleiglanz, Manganerzen und anderen aus wässriger Lösung. Dazu gehören auch die Ausfüllungen von Klüften mit Mineralien (taube oder Mineralgänge) und Erzen (edle oder Erzgänge), die oft von großer bergmännischer Bedeutung sind. Dabei haben wohl aufsteigende heiße Wässer die Lösungen aus der Tiefe gebracht oder sie stammen von der Auslaugung der Nebengesteine. Die Altersfolge der Erzgänge läßt sich daran erkennen, wie sie einander verwerfen.

Biolithe

Kohle. Das wichtigste Mineral als Grundlage unserer wirtschaftlichen Entwicklung sind die Mineralkohlen. Nach langen Irrtümern ist ihre Entstehung hauptsächlich aus Pflanzenresten sichergestellt. Pflanzen bestehen vorherrschend aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und geringen Mengen anderer Elemente. Der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre, hauptsächlich Kohlensäure, wird durch das Chlorophyll der Pflanzenzellen unter dem Einfluß des Sonnenlichtes in organische Stoffe verwandelt. Die Zellulose der Holzfaser ($C_6 H_{10} O_5$) geht an der Luft durch Verwesung unter Mitwirkung von Bakterien in ihre gasförmigen Bestandteile, besonders Kohlensäure und Wasser über. Bei Luftabschluß unter Wasser oder dichten Gesteinen vollzieht sich durch Mikroben eine Zersetzung, wobei sich Kohlensäure, Wasser und Methan (CH_4) bilden und zwar so, daß der H- und O-Gehalt rasch abnimmt und C sich anreichert (Inkohlung). Es scheint sich um eine der alkoholischen ähnliche Gärung zu handeln und sich eine humose Gallerte zu bilden, die die eigentliche Kohlensubstanz darstellt. Neben der Natur der Pflanzenreste ist die Ausbildung der verschiedenen Kohlenarten anscheinend abhängig von dem früheren oder späteren Abschlusse dieses Prozesses, vom Drucke und der erhöhten Temperatur.

Die wichtigsten pflanzlichen Brennstoffe zeigen nach dem zunehmenden Kohlenstoffgehalte folgende Reihe:

Holz	50	C	6	H	44	O		
Torf	60	„	6	„	34	„		
Lignit	67	„	6	„	27	„		
Braunkohle	75	„	5	„	20	„	spezifisches Gewicht	1,2 bis 1,4
Schwarzkohle.....	83	„	5	„	12	„	„	1,2 „ 1,5
Anthrazit	94	„	3	„	3	„	„	1,4 bis 1,7
Graphit	100	„	—	„	—	„	„	1,9 „ 2,3

Der Kohlungsprozeß geht heute noch in feuchten Wiesen, Torfmooren, vor sich. In Flach- oder Niederungsmooren wuchern hauptsächlich Gräser wie *Carex*, *Eriophorum* und Schilf und Moose (*Hypnum*) und über ihnen erhebt sich das Hochmoor mit Heidearten (*Erica*), Gräsern wie *Eriophorum* und *Scirpus* und Moosen (*Sphagnum*). Nadel- und Laubbäume siedeln sich an. Waldmoore entstehen in feuchten Urwäldern aus Moosen und gestürzten Baumstämmen, die ohne Risse plattgedrückt werden. Torf wächst in 100 Jahren bis zu 5 m. Am günstigsten für seine Bildung ist laues Wasser und gemäßigtes Klima. Torfmoore

finden sich in Deutschland, Irland, in den Alpentälern und anderwärts in Europa, aber auch in den Tropen. Mineralwässer bilden besonders durch Eisenocherabsatz Mineralmoore von besonderer Heilwirkung (Franzensbad).

Holz verwandelt sich durch Inkohlung zuerst in Lignit¹, der die Holzstruktur und braune Farbe zeigt, dann in Braunkohle, die dichter ist, schwarze Farbe und braunen Strich besitzt. Sie bräunt Ätzkali-lösung beim Erwärmen und erreicht bis 6000 Kalorien Heizwert. Sie ist großenteils geschichtet und man findet Waldböden mit wurzelnden Baumstümpfen eingeschaltet. Die Schwarz- oder Steinkohle ist schwarz mit schwarzem Strich und hat bis 8000 Kalorien Brennwert. Unter dem Mikroskop und nach Behandlung mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure ist die vegetabilische Struktur noch zu erkennen. Bei vielen Flözen ist der alte Humusboden mit darin liegenden Wurzelstöcken noch erhalten. Steinkohle gibt bei trockener Destillation Kohlenwasserstoff und andere Gase ab, die zur Leuchtgasbereitung verwendet werden. 1 cm³ Kohle enthält etwa 9 cm³ Gas, darunter 95 % Methan, 3,7 % Kohlensäure und 1,3 % Wasser. Durch die Inkohlung werden Gase, besonders Methan, frei und bilden mit Luft vermenget, ein sehr explosives Gemisch, die schlagenden Wetter, die Grubenkatastrophen herbeiführen. Anthrazit hat schwarze Farbe und Strich, muscheligen Bruch und über 8000 Kalorien Heizwert. Er schmilzt nicht im Feuer und verbrennt nur bei starkem Luftzuge. Graphit ist eisenschwarz, metallglänzend, mild, fettig, abfärbend und ist teilweise sicher aus der Kohlenreihe hervorgegangen. Doch gibt es auch gangförmige Vorkommen, die wohl durch Dämpfe abgesetzt sind.

Die Bildung der Kohle aus Zellstoff geht unter Volumsverminderung vor sich, die bei Schwarzkohle $\frac{7}{8}$, bei Anthrazit $\frac{11}{12}$ der ursprünglichen Masse beträgt. Sie muß rasch erfolgt sein, da in den Zwischenlagen der Flöze Gerölle von Kohle auftreten, die also damals schon verfestigt gewesen sein muß.

Flöze sind entweder autochthon², d. h. aus Pflanzenmaterial gebildet, das an Ort und Stelle gewachsen ist oder allochthon³, bei denen es zusammengeschwemmt ist (Fig. 54). Jene zeigen die Wurzelböden, die Kohle ist rein und über weite Erstreckung von gleichbleibender Mächtigkeit. Diese liegen mit scharfer Grenze auf dem Relief des Untergrundes, keilen seitlich rasch aus und die Kohle ist durch eingeschwemmtes Gesteinsmaterial verunreinigt und die zarteren Pflanzenteile sind schlecht erhalten. Aus den begleitenden Versteinerungen sieht man, daß Flöze in Südwasserseen oder in Strandseen an der Meeresküste gebildet worden sind, ähnlich den Mangrovesümpfen der tropischen Küsten.

Lignite sind meist diluvialen Alters und die Braunkohlen stammen meist aus der Tertiärzeit. An ihrer Bildung nehmen vorwiegend im Wasser lebende

¹ Lignum, lat., Holz; Holz im Beginne der Umwandlung in Kohle.

² Autos, griech., derselbe, chthon, griech., Boden; an Ort und Stelle gebildet.

³ Allos, griech., ein anderer; auf fremdem Boden.

Gewächse Anteil und die Stämme von Taxodien (Sumpfyzypresse) und *Sequoia* scheinen nur untergeordnet Material geliefert zu haben. Steinkohlen sind in tertiären Ablagerungen selten, sie stammen meist aus den älteren Formationen und sind aus Pflanzengattungen gebildet, die der heutigen Flora fremd sind. Dazu gehören vor allem die Calamiten (Schachtelhalmgewächse), Sigillarien (Siegelbäume), Lepidodendren (Schuppenbäume), Cordaiten (ähnlich den Cycadeen), Baumfarne u. a.

Steinkohlenflöze sind meist 1 bis 5 m, selten bis 15 m mächtig, Braunkohlenflöze 15, 20 ja bis 150 m. Diese treten meist vereinzelt oder in geringer Zahl übereinander auf, jene sind oft zu Hunderten in 5,7, ja bis 18 km mächtige Gesteinsschichten eingelagert. Die Ausdehnung einzelner Flöze erreicht in Nordamerika 1700 km². Sie sind sehr gestört, gefaltet, verworfen und der Abbau ist schwierig.

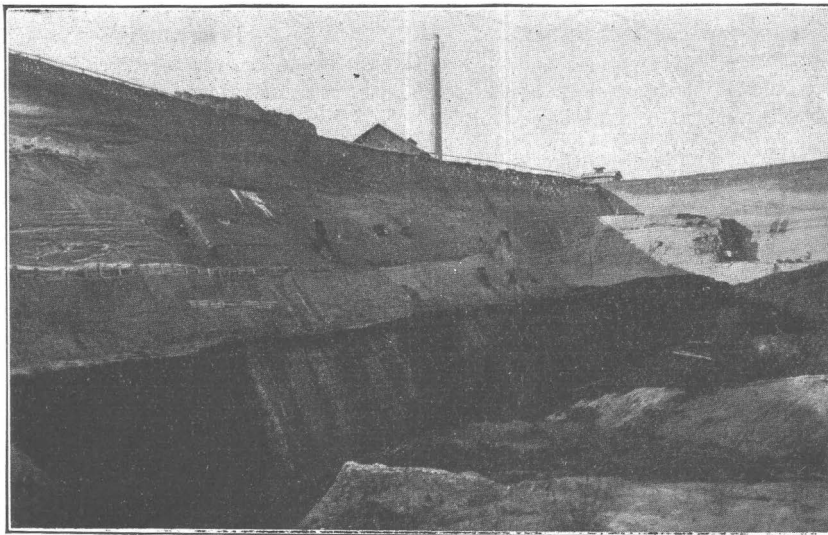


Fig. 54 Allochthones Braunkohlenflöz bei Zillingdorf, Niederösterreich. Im Hangenden Sande mit Kreuzschichtung und eingeschwemmten Baumstämmen (phot. Langer & Co., F. Hrdlička G. m. b. H., Wien)

Sie sind nur Reste einer einst viel größeren Verbreitung und bedecken in England und Irland 23000 km², in Nordamerika 500000 km² und in China noch viel mehr. Man kennt Kohlen in allen Formationen seit dem Präkambrium, besonders aber aus der Kohlenformation, dem Perm und Tertiär.

Wenn auch anscheinend der Kohlenstoffgehalt mit dem höheren Alter der Kohlen zunimmt, scheint doch der Druck und die nach der Tiefenstufe höhere Temperatur dabei eine Rolle zu spielen. Da viele Pflanzen Schwefel enthalten, bildet sich in Flözen Pyrit, durch dessen Oxydation Wärme erzeugt wird, so daß Flöze in Brand geraten (Flöz- oder Erdbrände). Im Kontakte mit Eruptivgesteinen kann Kohle verkocht oder kohlenstoffreicher werden. Die großen Kohlenfelder der Erde liegen auf der nördlichen Halbkugel zwischen dem 25. und 50., auf der südlichen zwischen 25. und 45: Breitgrad. Sie sind, wie die große Sedimentmächtigkeit zeigt, in Senkungsgebieten gebildet worden.

Erdgas

Gasförmige Kohlenwasserstoffe, vorherrschend Methan (CH_4) treten bei Zersetzung organischer Substanzen in geringer Menge aus dem Boden und können in Brand geraten. Größere Vorkommen dieser Art sind die Chimaera in Lykien, das Feuer von Velleia in Oberitalien, die heiligen Feuer der Feueranbeter von Baku u. a., die Jahrtausende brennen. Durch Bohrungen hat man große Erdgasmengen im Untergrunde vieler Becken nachgewiesen, die industriell verwertet werden, wie in Wels in Oberösterreich, im Karpathenvorlande, in Siebenbürgen (Kis Sarmos liefert in 302 m Tiefe täglich 864 000 m³ Gas unter 27 Atmosphären Druck), in den Vereinigten Staaten und anderen Orten.

Wasser mit Erdgasen gemischt zersetzt tonige Gesteine und kann als Schlammquellen oder Schlammvulkane mit großem Geräusche bei normaler Temperatur eruptiv zutage treten. Die Gase können in Brand geraten und hohe Feuersäulen bilden. Es bauen sich Kegel auf und Schlammströme verheeren das Land wie in Oberitalien, die Macaluba bei Girgenti, bei Baku u. a. O.

Bitume

Bei den Erdgasausbrüchen wird oft Erdöl (Naphtha) mitgerissen, das mit Sand vermischt oft 100 m und mehr emporgeschleudert wird. Es steht also in den Erdschichten unter Druck (Ölspringer) (Fig. 55), der mit der Zeit nachläßt. Manche Brunnen liefern anfangs Tausende Kubikmeter Öl in einem Tage, doch läßt die Ergiebigkeit mit der Zeit nach. Rohöl ist flüssig, gelb- oder braunrot, oft grün fluoreszierend und tritt als Imprägnation in porösen und klüftigen Sedimentgesteinen auf, schwimmt infolge seiner 0,6 bis 0,9 betragenden Dichte auf dem Schichtwasser und tritt daher in den Wölbungen von Falten (Öllinien) auf. Es kommt in allen Formationen vor und scheint sich größtenteils durch Wanderung auf sekundärer Lagerstätte in geeigneten porösen Gesteinen anzureichern. Die Ölvorkommen liegen meist parallel dem Außenrande von Gebirgsbogen im Vorlande. Bei Bohrungen trifft man vielfach zuerst Erdgas, dann Öl und schließlich drängt meist salziges und jodhaltiges Wasser nach. Benachbarte Ölbrunnen beeinflussen einander.

Das Erdöl hat sehr verschiedene chemische Zusammensetzung, gewöhnlich enthält es Verbindungen der Pentan- und Benzolreihe sowie Äthan u. a. Es ist wohl durch natürliche Destillation unter erhöhter Temperatur (um 400°) und 20 bis 25 Atmosphären Druck aus Fetten von Tieren (Foraminiferen, Hydro-medusen, Fischen) und niederen Pflanzen (Diatomeen, Algen u. a.) hervorgegangen. Aus dem graublauen oder grünlichen Faulschlamm seichter, stehender Gewässer, der aus solchen Stoffen besteht, hat man Petroleum und Paraffin gewonnen. Die reichsten Ölgebiete der Erde liegen in den Vereinigten Staaten, Mexiko, Persien, Transkaukasien (Baku), Rumänien, den Sundainseln u. a.

Durch Oxydation des Erdöls an der Luft wird der zähe Asphalt, Erdpech gebildet, eine schwarze, fettglänzende Masse, die bei 100° schmilzt, ein spezifisches Gewicht von 1,1 bis 1,2 besitzt und mit rußender

Flamme brennt. Reiche Lager dieses industriell wichtigen Materials sind in Syrien, am Toten Meere, auf Trinidad u. a. O. Es tritt auch in bituminösen Kalken und Schiefen auf.

Erdwachs, Ozokerit (CH_2), ist eine gelbe bis grünlich-braune, weiche Masse, die zwischen 56 und 82° schmilzt und besonders bei

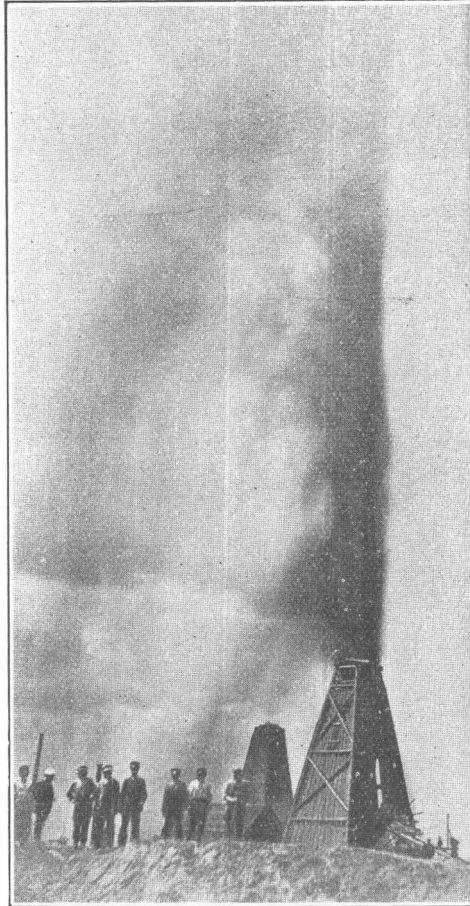


Fig. 55 Ölspringer in Balachany, Transkaukasien (nach einer käuflichen Photographie)

Boryslaw in Galizien in Gesteinsspalten, aus dem Erdöl der Tiefe hervorgegangen, auftritt. Manche bituminöse (asphaltreiche) Schiefer, Fischschiefer, Brand- und Stinkschiefer und manche bituminöse Kohlen sind aus Faulschlamm entstanden.

Phosphorverbindungen entstehen durch Anhäufung tierischer Reste. Der Guano, der sich auf mehreren Inseln der Südsee und bei Peru bis 40 m mächtig findet, ist vorwiegend ein Kalkphosphat aus Exkrementen von Seevögeln gebildet. Die Phosphoritlager verschiedener Formationen, meist Kalk-

phosphat in Form von Knollen in Tonen und Mergeln, sind zum Teil Exkreme (Koprolithe¹) von Fischen und Meersäuern, zum Teil aus der Zersetzung von deren Körpern hervorgegangen. Anhäufungen organischer Reste sind auch die Knochenbreccien, meist von Höhlenbären im roten, diluvialen Höhlenlehm, die Bonebeds² verschiedener Formationen aus Knochen, Fischschuppen, Zähnen, Koprolithen u. dgl. gebildet u. a.

Schwefel wird durch Bakterien aus dem Schwefelwasserstoff und dem Gipsgehalt von Gewässern gefällt. In Wasserbecken, deren Tiefe keine Strömung besitzt, reichert sich Schwefelwasserstoff an, so daß dort kein Tierleben bestehen kann, wie im Schwarzen Meere. Dort lagert sich im Schlamm Pyrit ab. Die Schwefelvorkommen von Girgenti in Sizilien, Kroatien, Galizien usw. sind wohl auch organogene Bildungen.

In Sümpfen bildet sich erdiger, knolliger Limonit, Raseneisenerz, unter Mitwirkung von Eisenbakterien.

Kieselguhr, Infusorienerde, eine marine oder lakustre Anhäufung winziger Kieselpanzer von Diatomeen, erreicht bis 20 m Mächtigkeit in der Lüneburger Heide und bei Berlin und tritt bei Limberg in Niederösterreich, bei Bilin in Böhmen und anderwärts als Diatomeen- und Polierschiefer (Tripel) auf.

Heiße Quellen, besonders Geysire, setzen Kieselsäure unter Mitwirkung von Algen als gallertartige Substanz (Gel) ab. Aus den Kieselpanzern von Radiolarien besteht der Radiolarienschlick, die fossile Radiolarienerde, Hornsteine, Radiolarite und Kieselschiefer. Die Feuersteine (Flint), die besonders in der Kreideformation häufig sind, sind konkretionär und zeigen oft noch die Struktur der organischen Körper wie Spongien und Seeigel, um die sie sich gebildet haben.

Kalk

Bakterien, die im Wasser von über 15° Temperatur leben (*Bacterium calcis* u. a.), können den im Meere gelösten kohlen sauren Kalk als dichte Kalkmassen fällen. Zahlreiche Pflanzen und Tiere lagern in ihren Zellen Kalk ab und bilden daraus ein Gerüst oder überziehen damit ihren Körper. Süßwasser- (*Chara*) und Meeresalgen, vor allem *Lithothamnium*, sondern Aragonit oder Calcit ab und bilden bis in eine Wassertiefe von 50 m Knollen und Rasen (Fig. 56). Ihre Absätze enthalten 54 % kohlen sauren Kalk und 5,5 % kohlen saure Magnesia. Sie gedeihen besonders bei einer Wassertemperatur von 20 bis 25° C und nehmen in den wärmeren Meeren hauptsächlichen Anteil am Aufbaue der Korallenriffe.

In heißen Quellen und an Wasserfällen ist die Mitwirkung von Algen bei der Bildung von Sintermassen bekannt.

Viele niedere wasser- und landbewohnende Tiere scheiden Kalk aus. Über diese chemischen Vorgänge weiß man wenig. Die geleistete Arbeit ist aber sehr bedeutend, da 1 l Meerwasser nur 1/35000 g Kalk enthält

¹ Kopros, griech., Mist, lithos, griech., Stein; versteinerte Exkreme.

² Bonebed, engl., Knochenlager.

und manche Muschelschalen viele Kilogramm schwer sind. Foraminiferen, Kalkschwämme, Steinkorallen, Röhrenwürmer, Bryozoen, Schnecken und Muscheln nahmen mit ausgestorbenen Tiergruppen Anteil an der Bildung der Kalkmassen, die heute hohe Gebirge aufbauen. In den heutigen Meeren finden sich ausgedehnte Bänke von Muscheln und an Flachküsten häuft sich der Grus zertrümmerter Konchylienschalen an. Besonders die stockbildenden Korallen gehören zu den wichtigsten Kalkbildnern, wie *Heliopora*, *Porites*, *Madrepora*, *Pocillopora* und Hydromedusen, wie *Millepora*. Ihr Skelett besteht vorherrschend aus Aragonit und zeigt die Gestalt von Rasen, Knollen, busch- und baumförmigen Gebilden, die durch die Brandung und Organismen zerstört und zu Korallensand zerrieben werden. Die Höhlungen des Riffs werden mit organogenem Kalkgrus ausgefüllt und durch Lösung und Wiederabsatz der festverkittete Riffstein gebildet. Das bewegte

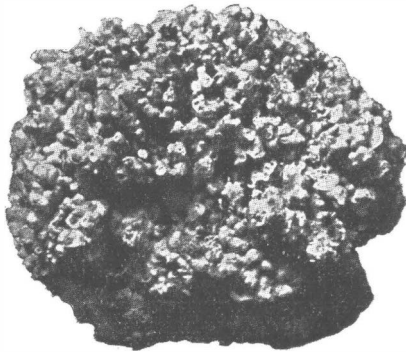


Fig. 56 Lithothamnionknollen (phot. Lotte Adametz)

Wasser um das Riff ist von feinem Kalkschlamm getrübt (Kalkmilch), der sich in stillen Lagunen niederschlägt. Grobe Trümmer werden an der Außenseite des Riffs als Blockhalde abgelagert. Korallen leben nur in reinem Meerwasser von normalem Salzgehalt und einer Temperatur von nicht unter 20° bis in eine Tiefe von etwa 50 m. Sie gedeihen im Luv wegen Zufuhr frischen Wassers und reicher Nahrung besser. Die Riffe sind vom Lande oft durch eine Lagune getrennt. Ihr Höhenwachstum ist durch die Ebbe begrenzt, wenn sie auch stundenlang trockenliegen können. Ein Flut- und Sturmwall verläuft auf ihnen parallel zum Ufer und der Wind häuft den Sand zu Dünen auf. Seewärts fallen die Riffe mit 10 bis 63° oft zu Tiefen von 4000 bis 5000 m ab, die auch zwischen den einzelnen Inseln einer Gruppe gelotet worden sind. Das Wachstum der Korallen geht sehr langsam vor sich, ästige Formen wachsen 10 bis 50 cm im Jahre, geben aber wenig Riffkalk, massige Stöcke nur $\frac{1}{2}$ bis 14 mm (Fig. 57).

Saum- oder Küstenriffe liegen im Seichtwasser am Strande, Wallriffe sind durch einen Kanal vom Ufer getrennt und Ringriffe (Atolle) schließen eine seichte Lagune ein. Da man durch Beobachtung und Bohrungen eine Dicke

des Riffsteines von mehreren hundert Metern festgestellt hat, ist es wahrscheinlich, daß der Aufbau der Riffe während einer Senkung des Meeresbodens erfolgt. Auf diese Weise entsteht aus einem Saumriff ein Wallriff und endlich ein Atoll (Fig. 58).

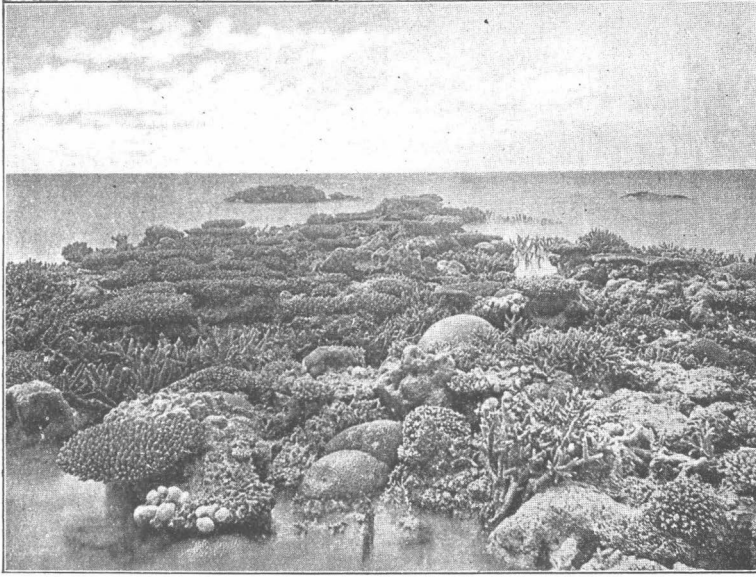


Fig. 57 Oberfläche eines wachsenden Riffes, Great Barrier Reef, Australien (nach W. Saville-Kent)

Man kennt fossile Riffmassen, besonders in den Südtiroler Kalkalpen, Schlern, Marmolata u. a., die bis 1000 m Mächtigkeit erreichen. Sie sind größtenteils in Dolomit, ein Gemenge von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, umgewandelt und haben die organische Struktur verloren.

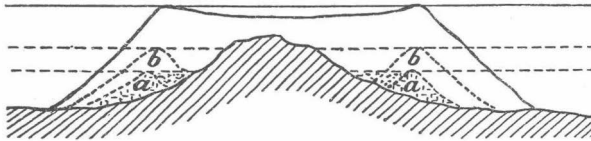


Fig. 58 Profil durch ein Riff zur Veranschaulichung der Theorie Darwins. Bei Sinken des Bodens entsteht aus dem Saumriffe (a) ein Wallriff (b) und schließlich ein Atoll mit Lagune (nach F. Marshall)

Sedimente

Viele einzelne Massenteilchen, die transportiert worden sind, bilden angehäuft Sedimente. Man nennt sie Breccien, wenn es eckige Bruchstücke sind, Schotter und Konglomerate bei größeren abgerundeten Trümmern, Sande und Sandsteine, wenn die Teilchen über 0,05 mm Durchmesser und bis Erbsengröße besitzen, Schlamm-,

Staub- oder Tongesteine, wenn feinsten Staub angehäuft wird. Gewöhnlich teilt man die Sedimente nach dem Orte ihrer Ablagerung ein und wir bezeichnen als Fazies eines Sedimentes seine Eigenschaften, die von der Natur des Ortes seiner Entstehung, den Ablagerungsbedingungen, abhängig sind. Man unterscheidet: 1. terrestrisch¹ Ablagerungen, auf der Erdoberfläche (subaërisch)² gebildet: a) kosmischen Staub (kosmogon), b) vulkanische Auswürflinge (vulkanogen), c) klastisches Material, trocken abgelagert; 2. aquatische³ Ablagerungen, unter Wasserbedeckung abgelagert: a) fluviale, fluvialitisch⁴, Flußsedimente, b) lakustisch⁵ oder Seesedimente, c) marine oder Meeressedimente, wobei bei jedem das Material aus dem Weltraume, von Vulkaneruptionen oder aus der Zerstörung älterer Gesteine stammen kann.

Terrestrische Sedimente, Trockenbildungen

Hierher gehört der „Eisstaub“, Kryokonit, der sich in der Randzone des polaren Inlandeises anreichert und neben Gesteinsstaub auch kosmische Gemengteile (Magnetit, metallisches Kobalt-Nickelisen) enthält.

Vulkanische Auswürflinge, Bomben, Lapilli, Asche und Staub werden auf dem Festlande zu Trockentuffen aufgehäuft, die durch Sonderung in der Luft geschichtet sind. Sie bedecken oft weite Landstriche und werden Hunderte von Metern mächtig.

Die Schuttmassen, die im Hochgebirge und in Wüsten am Fuße der Berge angehäuft werden, können undeutlich geschichtete, steilgeneigte Breccien bilden. Das Material der Oberflächenmoränen bildet ebenfalls eckige Breccien und die Grundmoränen Anhäufungen von sandigem Lehm mit abgerundeten, geglätteten und gekritzten Geschieben (Blocklehm). Die Gletscherwässer schwemmen diese Ablagerungen um. Das Inlandeis bildet, wie erwähnt, ähnliche Ablagerungen in viel größerem Maßstabe (vgl. S. 72).

Sande werden auf trockenem Wege zu Dünen in Wüsten, an Küsten und Flußufern aufgehäuft. Der Dünen sand ist wohl gerundet, vorherrschend Quarzsand und zeigt eine feine Schichtung, oft bunte Bänderung, Diagonal- und Kreuzschichtung. In Wüsten bedecken Sandbildungen, Hunderte von Metern mächtig, weite Landstrecken. Küstendünen bilden nur schmale Zonen und in ihnen können Konchylien eingebettet erhalten werden. Heute sind 7 % der Festlands oberfläche von Wüsten bedeckt und man kennt aus allen Formationen mächtige

¹ Terrestrisch, lat., auf der Erde befindlich, von der Erde stammend, festländisch.

² Sub, lat., unter, aër, lat., Luft; am Boden des Luftmeeres befindlich, entstanden.

³ Aqua, lat., Wasser; im Wasser gebildet.

⁴ Fluvialis, fluvialitisch, lat., zum Flusse gehörig, durch Flüsse oder in Flüssen gebildet.

⁵ Lacus, lat., See; in einem See gebildet.

gelbe oder rote Konglomerate, Sandsteine und Tone, die auf Ablagerung unter trockenem Klima zurückgeführt werden.

Der Löß ist eine Bildung durch zusammengewehten Gesteinsstaub, Quarzkörnchen, Tonflöckchen und Glimmerschüppchen, porös, ungeschichtet, mürb verfestigt, meist lichtgelb und von zahllosen feinen Röhren, die von verwesten Halmen und Wurzelfasern herrühren, durchzogen. Er saugt Wasser gierig auf und in ihm finden sich mergelige Konkretionen (Lößpüppchen). Er erreicht im niederösterreichischen Waldviertel 20 m Mächtigkeit und wird von tiefen, engen Schluchten durchschnitten. In China wird er bis 600 m stark und seine Bildung reicht auf 200000 Jahre zurück. In ihm ist eine Steppenfauna eingebettet. Ton- und Salzwüsten zeigen sehr bezeichnende Ablagerungen, die auch aus der Vorzeit der Erde uns überliefert sind.

Fluviale Sedimentation, Flußbildungen

Im Hochgebirge werden von den Bächen Schuttkegel von Breccien angehäuft und Konglomeratmassen gebildet, wo das Material nach einem Transporte von oft wenigen Kilometern an den Kanten gerundet ist. Bei größeren Flüssen findet sich ein oft viele Meter mächtiges Schotterbett aus abgerundeten Geröllen und abgeflachten Geschieben, das nicht oder undeutlich geschichtet ist. Die Schotter älterer Terrassen sind oft gelblich oder rötlich durch den Eisengehalt zersetzter weicherer Gemengteile verfärbt. Sie sind von Wichtigkeit für das Erkennen der Wasserläufe der jüngeren Vorzeit. Über dem Schotter liegt ein zarter, undeutlich geschichteter Lehm, der Silt (Auelehm), der im Überschwemmungsgebiete einen guten Nährboden für die Vegetation bildet. Nur in ihm sind Knochen von Säugetieren und Konchylienschalen erhalten. In Tiefländern ist die Mächtigkeit dieser Alluvialbildungen beträchtlich, in der Theißebene über 200 m, im Gangeslande gegen 500 m, wobei überall ein Nachsinken des Untergrundes anzunehmen ist. In den Deltas können mächtige Sedimentmassen bis 35° geneigt abgelagert werden. In toten Flußarmen können Holzmassen und Torf angehäuft werden und es kann Kohlenbildung eintreten.

Lakustre, (limnische¹) Sedimentation, Seebildungen

In Seen wird alles von Flüssen mitgeführte Gesteinsmaterial abgesetzt und der Schotter näher der Mündung, Sand und Schlamm über den Boden verteilt abgelagert. Die nach den Jahreszeiten verschiedene Wasserführung bedingt eine Wechsellagerung der Sedimente. In Endseen werden chemische Absätze gebildet, vor allem kohlenaurer Kalk und Salze ausgeschieden. Wasserpflanzen sind die Ursache von Torfbildung. Besonders wichtig sind Seebildungen dadurch, daß sie in vorzüglicher Weise die eingeschwemmten Kadaver größerer Tiere und Pflanzenreste bewahren.

¹ Limne, gr., See; in einem See gebildet, befindlich.

Marine Sedimentation, Meeresbildungen

Die wichtigsten Ablagerungen infolge weiter Verbreitung, Mächtigkeit, Gleichförmigkeit und mannigfacher fazieller Ausbildung, sind die des Meeres. Sie werden nach den Tiefenverhältnissen in mehrere Ablagerungsbezirke eingeteilt. Das küstennahe Litoralgebiet¹ reicht in der Seichtwasserzone bis zur 200 m Tiefenlinie und ist bisweilen ein paar hundert Kilometer breit.

Hier herrschen kontinentale, terrigene, vom Festlande stammende Sedimente vor, die nach der Korngröße in verschiedener Entfernung vom Ufer abgelagert werden. Sie erreichen bei der häufigen Senkung des Bodens eine große Mächtigkeit. Je nachdem Schlamm-, Sand- oder Felsküste herrscht, sind die Sedimentations- und Lebensbedingungen verschieden. Der zur Ebbezeit trockenliegende Sandstrand zeigt Wellenfurchen, Trocknungsrisse, Fährten. Muschelgrus wird angehäuft, Konchylien und Würmer graben sich in den Sand ein, Krabben und Seeigel leben in den Rasen von Seegrass und Tangen (Typus des Lido von Venedig). In tropischen Meeren breitet sich hier das Mangrovedickicht aus. Die Verlandung schreitet rasch fort und nahe den Flußmündungen ist das Wasser teilweise ausgesüßt, brackisch.

An Felsküsten findet sich der Blockstrand und Strandhalden, hier wachsen Kalkalgen; Korallen, Austern und Balanen sind festgewachsen, große dickschalige Konchylien und plumpe Seeigel liegen umher, Muscheln, Seeigel und Spongien haben Löcher in das Gestein gebohrt. Die Fauna des Litorals ist größeren Schwankungen des Salzgehaltes und der Temperatur angepaßt. Die Wasserbewegung und das Licht üben einen Einfluß auf die Lebensbedingungen aus. Hier werden die großen Kalkmassen von Algen, Korallen und Konchylien gebildet, aber auch auf der Oberfläche treibende Organismen (Plankton)² wie Radiolarien, Foraminiferen, Pteropoden u. a. angehäuft.

Von 200 bis 1000 m Tiefe folgt die hemipelagische³ Zone mit konstanter Temperatur, leicht bewegtem oder ruhigem Wasser, schwachem Licht oder lichtlos und deshalb ohne Pflanzen. Hier leben schlammfressende Tiere, Fische, langschwänzige Krebse und Mollusken. Es wird hier feinstes terrigenes Sediment (Schlick) abgelagert, das durch Schwefeleisen blau, durch Eisenoxyd rötlich gefärbt wird.

Die abyssischen⁴ oder pelagischen Tiefseebildungen, die die Böden der großen Ozeane bedecken, haben wenig vom Festlande stammendes Material und Bildungen meist vulkanischer Herkunft und Kalkabsätze planktonischer Organismen herrschen vor. Die Temperatur ist dort nahe 0° und es finden sich blinde oder mit Leuchtapparaten versehene, merkwürdige Tierformen von kosmopolitischer Verbreitung. Der kalkreiche Globigerinenschlick reicht bis 4000 und 5000 m hinab, wo der Kalk aufgelöst wird. In kälteren Meeren findet

¹ Litoralis, lat., die Küste betreffend, küstennah.

² Plazestai, gr., verschlagen werden; auf dem Wasser treibend.

³ Hemi, gr., halb, pelagos, gr., Meer; nicht auf ganz hoher See lebend.

⁴ Abyssos, gr., grundlos, tief; aus großen Tiefen stammend.

sich Pteropodenschlamm, aus Radiolarien, Spongiennadeln und Diatomeen gebildeter kieselsäurereicher Schlick und der rote Tiefseeton, ein Zersetzungsprodukt vulkanischer Auswürflinge, der kosmische Gemengteile enthält. Die Sedimentation geht so langsam vor sich, daß man Zähne tertiärer Haifische gedredst hat. Die Fauna ist altertümlich, mit merkwürdigen Fischen, Krebsen, kleinen Muscheln, Brachiopoden, Echinodermen, Einzelkorallen, Kieselschwämmen u. dgl.

Fazies

Es ist wichtig, Sedimente und Sedimentgesteine nach ihrer Fazies, d. h. den Ablagerungsbedingungen und den Lebensverhältnissen der darin eingebetteten Organismen zu beurteilen. Ihre Mannigfaltigkeit ist sehr groß. In seichtem Wasser wechseln die Absatzbedingungen und daher die Fazies rasch, die einzelnen Gesteine gehen seitlich ineinander über oder sind miteinander verzahnt, indem sie wechsellagern. Die Absatzverhältnisse ändern sich aber auch mit der Zeit und die Fazies verschiebt sich seitlich, sie wandert. So liegen Seichtwasserbildungen über Tiefseesedimenten, marine Ablagerungen über kontinentalen, Wüstenbildungen über solchen eines Strandsees. Dies ist von großer Wichtigkeit für das Erkennen der Änderung der physikalischen Verhältnisse auf der Erdoberfläche in der Vorzeit. Daraus ersehen wir, wie Festland und Meer, Wüste und fruchtbares Land ihre Grenzen verschoben haben. Die in gleicher Zeit gebildeten Sedimente haben nicht die gleiche Mächtigkeit. An der einen Stelle werden ein paar Millimeter feinen Schlammes, an einer anderen Hunderte von Metern grober Schotter abgelagert oder es wachsen Korallenstöcke um wenige Zentimeter. Unter stehender Wasserbedeckung erfolgt die Ablagerung vielfach lückenlos und konkordant, während auf den Festländern Lückenhaftigkeit und Diskordanz vorherrschen.

Diagenese¹

Ablagerungen werden durch innere und äußere Kräfte in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften verändert, meist verfestigt, wodurch sie erst zu Absatzgesteinen werden. Die Veränderung durch innere Kräfte heißt Diagenese. Sie umfaßt Auslaugung, Verfestigung durch Fällung eines gelösten Bindemittels, besonders Kalk und Kieselsäure, oder chemische Umwandlung. Besonders die kalkigen Reste der Organismen werden aufgelöst und liefern das Bindemittel oder es werden ihre Hartteile durch andere Minerale (Kieselsäure, Pyrit, Hämatit u. a.) ersetzt. Durch Verfestigung entsteht der feste Riffkalk, aus Kalkschlamm der Plattenkalk, Konglomerat (Nagelfluh) aus Schotter, Breccien aus Schutt, Sandstein aus Sand, Tonschiefer aus Ton. Bei größerem Kalkgehalt bildet Ton den Mergel und Kalkmergel. Trümmer von Tonschiefer und Sandstein geben verfestigt die Grauwacke. Die Inkohlung und die Bildung fester und flüssiger Kohlenwasserstoffe, von Schwefel, Phosphor, Sumpferzen, manchen Kupfererzen gehört auch zur Diagenese, wie die so mannigfache Entstehung von Konkretionen durch Anreicherung löslicher Substanzen an einzelnen Stellen, wobei die Verwesung organischer Körper und Kolloide (Gele) eine Rolle spielen. Die rostrote Verfärbung des blauen Tones durch den Zerfall des Pyrits unter Bildung von Gips und Eisenoxyd, ist weit verbreitet. Die Verfestigung von Sedi-

¹ Diagenesis, gr., Umbildung.

menten zu Gesteinen ist begreiflicherweise in den älteren Formationen fast allgemein, doch gibt es noch ganz lose Absatzgesteine aus den ältesten Zeiten.

Sedimente der Vorzeit

Aus den Ablagerungsverhältnissen ergibt sich, daß tiefer liegende Schichten älter, höher gelegene jünger sind, wenn wir die ursprüngliche Schichtfolge vor uns haben. Einen genaueren Maßstab für eine Altersbestimmung gibt die Entwicklungsgeschichte der Organismen, deren Reste in den Schichten eingebettet sind. Wir wissen, welche Formen älter, welche jünger sind und können darnach das Alter einzelner Schichten bestimmen. Gleichalterige Gesteine schließen die gleichen Organismenreste ein, wenn sie unter ähnlichen Lebensbedingungen gebildet worden sind. Schichten, die unter verschiedenen Absatzverhältnissen abgelagert worden sind, sind dem Alter nach schwer zu vergleichen, wie z. B. Sedimente der Tiefsee, des Seichtwassers, eines Sees u. a. Wir suchen daher für die Altersbestimmungen solche Tier- und Pflanzenreste zu finden, die eine möglichst weite räumliche Verbreitung in verschiedenartigen Ablagerungen besitzen und sich zeitlich rasch verändern, also einen möglichst beschränkten Zeitraum bezeichnen — Leitformen. Besonders mit den Überflutungen der Kontinente wandern leitende Faunen über weite Gebiete der Erde.

Die Zonen, in denen sich die mächtigsten Ablagerungsgesteine bilden, sind die Geosynklinalen am Rande der Kontinentalmassen, die unter dem Drucke der auflastenden Sedimentmassen sich senken. Diese Gebiete sind die beweglichen Zonen, in denen Gebirgsbildung erfolgt, heute der Rand des Pazifischen Ozeans und die Mittel- und Randmeere in Südeuropa und Südasiens. Es hat den Anschein, daß alle uns aus der Vorzeit der Erde in den Gebirgen überlieferten Sedimente in einer verhältnismäßig geringen Ablagerungstiefe wohl unter 1000 m gebildet worden sind. Sie sind uns nur teilweise erhalten, da wenig mächtige und lockere Gesteine wieder rasch abgetragen werden, wie vor allem die fluvialen, glazialen, äolischen und vulkanogenen. Es sind meist Meeresbildungen, die in großer Mächtigkeit und weiter Verbreitung erhalten sind. Die zerstörten Gesteine wurden, wie es auch heute der Fall ist, stets transportiert und an geeigneten Punkten neu abgelagert und sie befinden sich also in einem fortwährenden Kreislauf, bis die einzelnen Teilchen eine völlige mechanische Zerkleinerung oder chemische Auflösung erfahren haben.

Der Fossilisationsprozeß

Man hat erst am Ende des 18. Jahrhunderts erkannt, daß die in Gesteinen eingeschlossenen Tier- und Pflanzenreste aufeinanderfolgenden Faunen und Floren angehören und Zeitmesser für die Schichten sind, in denen sie auftreten. Mit ihnen befaßt sich die Paläontologie¹, Versteinerungslehre, Petrefaktenkunde², die Lehre von den

¹ Palaios, gr., alt, on, gr., seiend, logos, gr., Lehre; die Lehre von den alten Lebewesen, von den Versteinerungen.

² Petra, gr., Stein, facere, lat., machen; Versteinerung.

Organismen der Vorzeit. Sie zerfällt in die Paläophytologie¹ und Paläozoologie², je nachdem sie sich mit fossilen Pflanzen oder Tieren beschäftigt.

Unter Fossilien versteht man im allgemeinen alle Reste und Spuren ausgestorbener Organismen. Nicht immer werden auch die vom Menschen ausgerotteten Formen, wie der Riesenhirsch Europas, die Stellersche Seekuh des Behringsmeeres, als fossil angesehen. Als subfossil³ bezeichnet man Reste, die lebenden Arten angehören und nicht mit ausgestorbenen Formen vereint vorkommen. Fossilien sind bisweilen keine Versteinerungen, wie z. B. die Mammutkadaver Sibiriens, die mit Fleisch

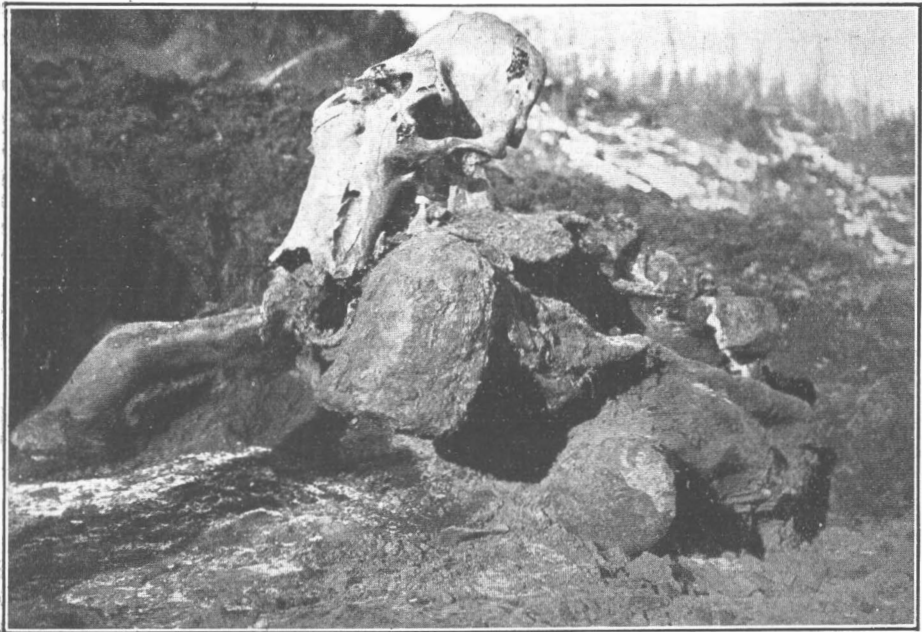


Fig. 59 Kadaver des im Eise eingefrorenen Mammut an der Beresowka, Sibirien, nach begonnener Bloßlegung (phot. Mammutexpedition der K. Russ. Akademie der Wissenschaften 1901/02)

und Fell erhalten sind. Der Begriff der Versteinerung beinhaltet eine Ersetzung organischer Substanz durch unorganische.

Den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, fällt jede organische Substanz der Verwesung anheim. Meist unter Luftabschluß kann sie durch mineralische Neubildungen ersetzt werden. Besonders die Hartteile des Tierkörpers aus Kieselsäure, kohlensaurem und phosphorsaurem Kalk, Fluorkalzium und Chitin, einer stickstoffhaltigen Substanz, bestehend, sind erhaltungsfähig. In gefrorenem

¹ Phytion, gr., Pflanze; die Lehre von den fossilen Pflanzen.

² Zoon, gr., das lebende Wesen; die Lehre von den fossilen Tieren.

³ Subfossil, lat., nicht ganz fossil.

Zustande, in Erdöl, in Torfmooren durch Humussäuren imprägniert, durch Kochsalz und Metallsalze, in Harz und durch Austrocknung (Mumifizierung) können organische Substanzen oft lange erhalten bleiben (Fig. 59).

Die eigentliche Versteinering enthält keine organischen Stoffe mehr. Manche Gesteine, besonders feinkörnige und wasserundurchlässige sind vorzüglich für die Erhaltung fossiler Reste geeignet, wie der lithographische Schiefer von Solnhofen in Bayern (Fig. 60), der Reptilien, Fische, Weichtiere, Insekten u. a. wunderbar erhalten bewahrt hat. Bisweilen sind Kadaver durch Kieselsäure oder phosphorsauren Kalk ersetzt, als Pseudomorphosen erhalten. Man kennt die Eier,

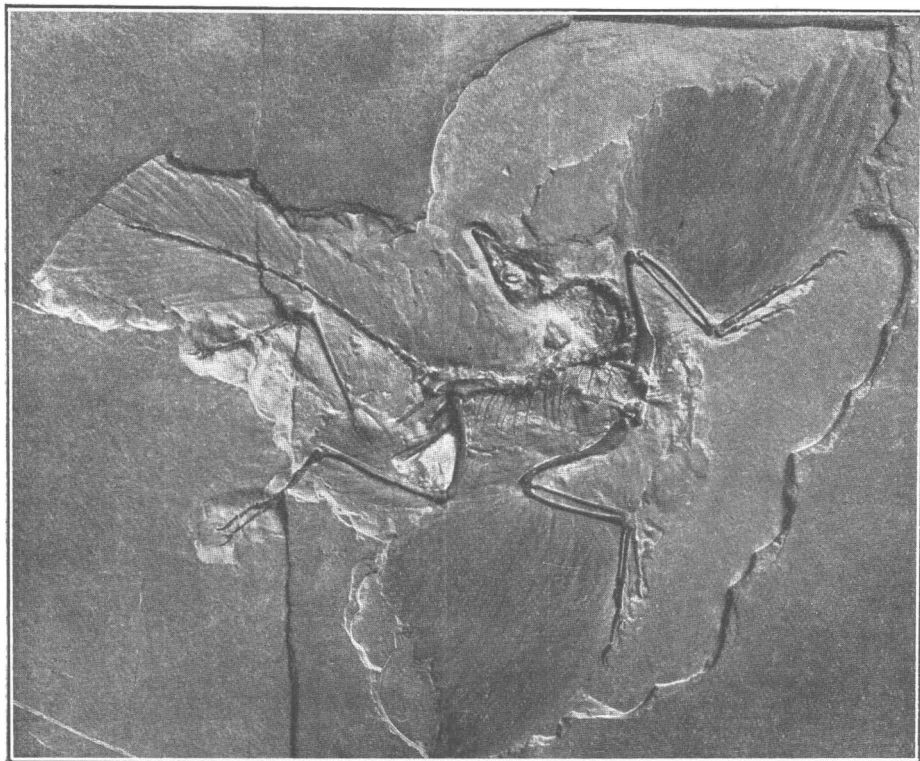


Fig. 60 Skelett von *Archaeopteryx*, Solnhofen, zirka $\frac{1}{2}$ d. nat. Gr.

die Fährten, die Baue (Fig. 61) und Fraßplätze von Tieren, aus den Koprolithen ihre Nahrung, man kennt krankhafte und durch Verwundung oder Verletzung entstandene Veränderungen der Knochen. In Bernstein haben sich die Insekten des Tertiärs als überaus zarte Hohlräume erhalten. Von Konchylien sind oft die Schalen vorhanden oder nur die Abdrücke der Außenseite oder Ausfüllungen des Innern des Gehäuses (Steinkerne) (Fig. 62). Von niederen Tieren kennt man in Einzelheiten gehende Abdrücke der Weichteile, Bohrgänge, Kriech-, Fraß- und Laichspuren.

Viele fossile Reste sind in Massen angehäuft, wie die Organismen vereint gelebt haben oder nach dem Tode zusammengeschwemmt worden sind. Solche Massenvorkommen nehmen an der Gesteinsbildung Anteil. Kalke werden durch

Foraminiferen, Spongien, Korallen, Krinoiden, Bryozoen, Brachiopoden, Muscheln, Schnecken und in der Vorzeit vor allem auch durch schalentragende Cephalo-

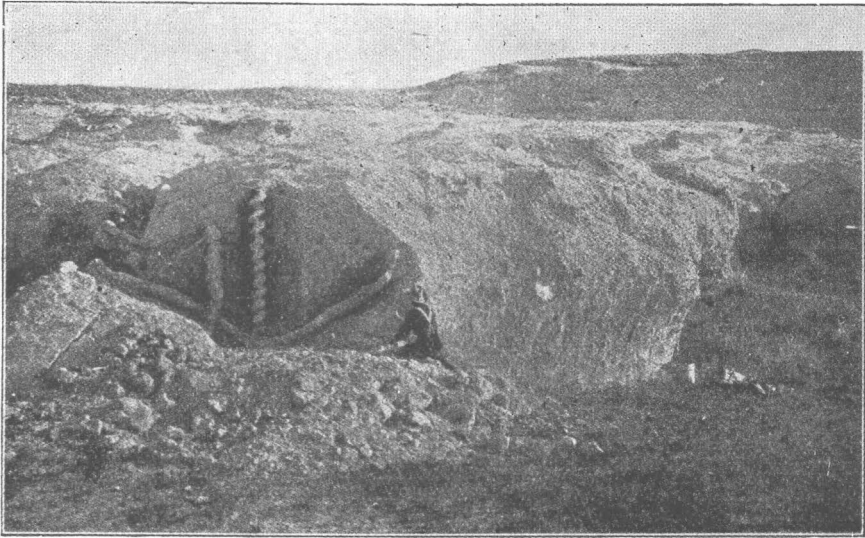


Fig. 61 *Daemonelix*, Bau eines Nagetieres aus dem Miozän Nordamerikas
(aus H. F. Osborn)

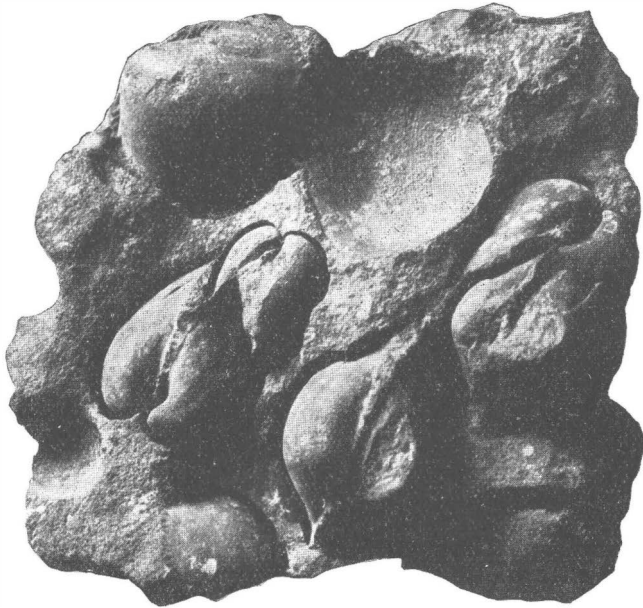


Fig. 62 Steinkerne und Abdrücke von Muscheln in Sandstein (phot. Lotte Adametz)

poden (Fig. 63) und von Kalkalgen gebildet und Diatomeen, Radiolarien und Kieselspongien sind das Material für Hornsteine, Kieselschiefer, Jaspise und

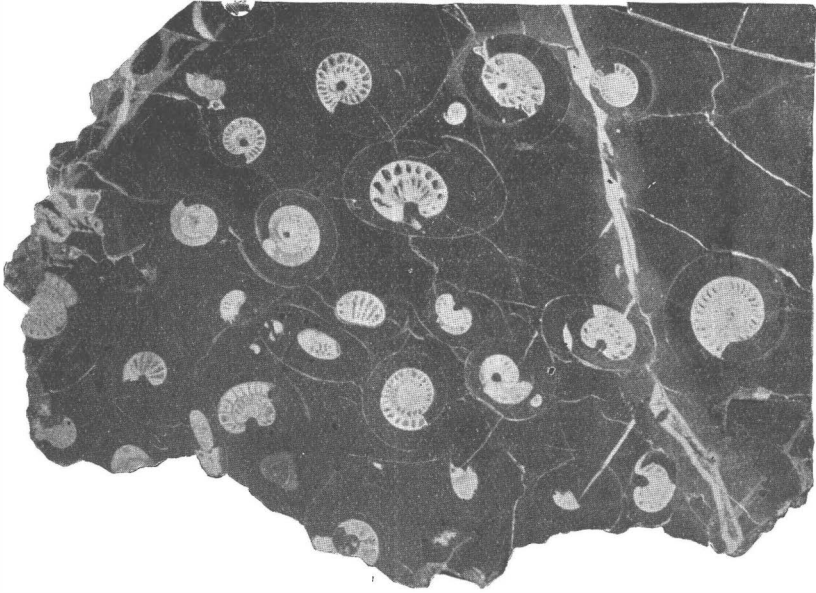


Fig. 63 Ammonitenkalkstein. Die Luftkammern der Gehäuse sind zum Teil mit weißem Kalkspate erfüllt, zum Teil Hohldrüsen, die Wohnkammern sind mit dem roten Muttergestein ausgefüllt (phot. Lotte Adametz).

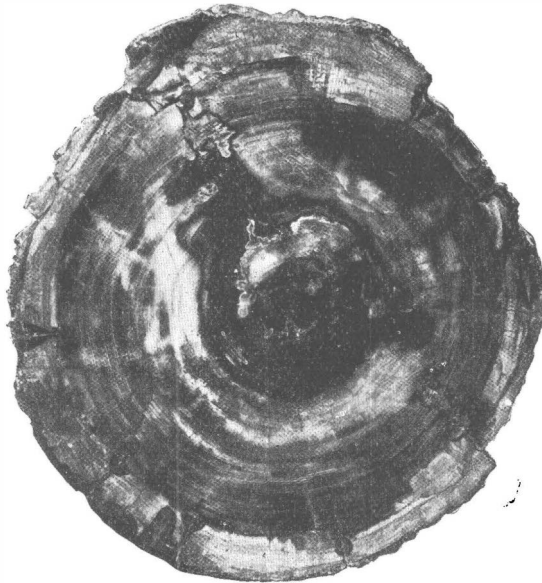


Fig. 64 Querschnitt durch verkieseltetes Koniferenholz (Holzachat), Miozän, Ungarn (phot. Lotte Adametz)

Radiolarite. In Schiefen sind Fische oft in so großer Zahl vorhanden, daß sie bituminös werden und auch Reptilien und Säugetiere kommen stellenweise massenhaft vor, wo sie entweder zusammengeschwemmt oder in Herden vernichtet worden sind.

Pflanzenreste sind meist in Kohle verwandelt, Hölzer auch verkieselt (Holzachat) (Fig. 64) erhalten und ihre Struktur ist oft bis in die Einzelheiten zu erkennen. Massenanhäufungen von Pflanzenresten sind der Anlaß zur Kohlenbildung.

IV. Die Störungen der Erdrinde

Die Grundlagen der Tektonik

Massengesteine zeigen keine Regelmäßigkeit der Lagerung und man kann daher Störungen der Erdrinde außer an Brüchen nicht oder nur schwer aus ihnen entnehmen. Schichtgesteine, die ursprünglich

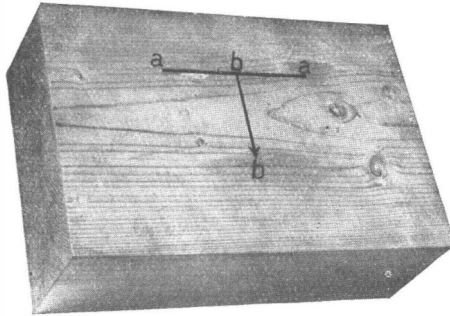


Fig. 65 Streichen ($a-a$) und Fallen ($b-b$) einer Schichtfläche.

fast ausnahmslos horizontal gelagert gewesen sind, zeigen, daß es kein Stück der Erdrinde gibt, das seine ursprüngliche Lage zum Erdmittelpunkte stets bewahrt hat, das nicht gestört, disloziert ist. Man kann also aus Schichtgesteinen diese Störungen (Dislokationen¹) erkennen, die sie im Laufe der Erdgeschichte erfahren haben. Dies ist, neben der Beschaffenheit der Gesteine die wichtigste Grundlage für den Aufbau, die Tektonik² eines Teiles der Erdrinde.

Die Neigung einer Schichtfläche gegen eine horizontale Ebene wird ihr Fallen (Verflächen) genannt. Dieses wird an dem größten Winkel gemessen, den sie mit der wagrechten Ebene einschließt. Seine Richtung wird durch die Himmelsrichtung der senkrechten Ebene angegeben, die jenen größten Winkel bildet. Zu diesem Zwecke bedient man sich des Bergkompasses, d. h. eines gewöhnlichen Kompasses, der auf einem quadratischen Brettchen befestigt ist, dessen Seiten den Haupthimmelsrichtungen parallel sind. Der Ost- und Westpunkt sind vertauscht und es ist eine weitere Einteilung in 24 Stunden ($h = \text{horae}$) und 360^0 von

¹ Dislocare, lat., entfernen; Lageveränderung einer Schicht.

² Tektoniké, gr., Baukunst; Bau der Erdrinde.

Nord ausgehend in dem Gange des Uhrzeigers entgegengesetzter Richtung angebracht.

Mit diesem Instrumente mißt man zuerst das Streichen der Schicht, d. h. die Richtung der in die Schichtfläche gelegten horizontalen Linie (Fig. 65). Man legt das Brettchen horizontal an die Schichtfläche und sieht nach, wie weit der Nordpol der Nadel von der Nordsüdlinie der Teilung abweicht. Um dies direkt ablesen zu können, sind Ost und West vertauscht. Man liest also z. B. ab: N 30° O oder 2 h (hora 2), wenn der Nordpol 30° von N gegen O abweicht und auf h 2 weist, N 45° W oder hora 21 usw. Dies ist das Streichen der Schicht. Der Fallwinkel liegt senkrecht zum Streichen und um ihn zu messen, wird die Nadel des Kompasses festgeschraubt (arretiert) und dieser mit einer Seite senkrecht auf die Schichtfläche in der Fallrichtung (senkrecht zum Streichen) aufgestellt, sodaß ein kleiner Senkel auf einer halbkreisförmigen Gradeinteilung sich einstellen kann. Daran kann man den Fallwinkel direkt ablesen. Horizontale Lagerung heißt söhlig oder schwebend. Sie gilt im allgemeinen als ungestört. Vertikale Schichtstellung heißt seiger. Auf der Karte wird das Streichen durch einen



Fig. 66 Die Fallzeichen: 1. Schwebende, horizontale oder söhliche Lagerung; 2. Ost—West streichend, flach nach Norden fallend; 3. Nordwest—Südost streichend, steil nach Nordost fallend; 4. seiger stehend, Nord—Süd streichend

in seiner Richtung liegenden Strich, das Fallen durch einen dazu senkrechten Pfeil bezeichnet, dessen Länge mit wachsendem Fallwinkel abnimmt. Eine bisweilen dazu gesetzte Zahl zeigt den Winkel in Graden an (Fig. 66).

Bewegungen der Strandlinie

Man trifft Reste von Tieren des Meeres in oft großer Höhe über dem Meeresspiegel und schließt daraus auf Veränderungen der Lage eines Teiles der Erdkruste gegenüber dem Meere. Ob eine Hebung des Landes, also eine Vergrößerung der Entfernung des Punktes vom Erdmittelpunkte eingetreten ist oder ein Sinken des Meeresspiegels, ist nicht ohne weiteres zu entscheiden. Wir sprechen also allgemein von Verschiebungen der Strandlinie. Hebung des Landes oder Sinken des Meeresspiegels drückt sich als Sinken (negative Verschiebung) der Strandlinie aus. Sinken des Landes oder Ansteigen des Meeresspiegels als positive Verschiebung. In diesem Falle greift das Meer über das Festland (es transgrediert¹, Transgression), in jenem weicht es zurück (Regression)². Für negative Bewegung zeugen hochgelegene Strandlinien, Muschelbänke, Kalkriffe, Deltas, gehobene Hafens

¹ Transgredior, lat., ich überschreite; Übergreifen eines Meeres auf das Festland.

² Regressio, lat., das Zurückweichen.

anlagen u. dgl., für positive Verschiebung vom Meere überflutete Festlandsbildungen, Wälder, Torfmoore, Bauwerke, ertrunkene Täler u. a.

Den Erdgezeiten ähnliche, aber weit größere und länger andauernde Änderungen der Gestalt der Erdrinde bewirken Hebungen und Senkungen von Krustenteilen, wie sie in Skandinavien und im nordöstlichen Nordamerika nachgewiesen worden sind und wie sie in der Vorzeit große Verschiebungen in der Verteilung von Festland und Meer und Veränderungen des Klimas hervorgerufen haben. Bei Stockholm hat man in 50 Jahren eine Hebung des Landes um 19 cm nachgewiesen. Die Insel Capri zeigt eine in historischer Zeit vor sich gegangene Hebung um 3,7 m im Westen und 7 m im Osten. In der Poebene liegen Landbildungen mehrere hundert Meter unter dem Spiegel des Meeres, sind also gesenkt. In Dalmatien überflutet das Meer ein altes Festlandsrelief (Ingressionsküste¹). In Kalifornien sind ganz junge Bildungen bis 400 m, auf der kalifornischen Halbinsel bis über 1000 m gehoben. Inseln und Küstenstriche sind in historischer Zeit versunken. Holland und Flandern senken sich bis etwa 30 cm in 100 Jahren und müssen durch Deiche geschützt werden. Präzisionsnivellements zeigen Veränderungen in der Lage der Fixpunkte (säkulare² Bewegungen). Es ist vielfach beobachtet worden, wie bei heftigen Erdbeben vertikale und seitliche Verschiebungen von Landstrichen sich vollzogen haben. Der Serapistempel von Pozzuoli bei Neapel ist von 100 v. Chr. bis 1500 n. Chr. 6 m unter den Meeresspiegel gesunken, dann bis gegen 1900 aus dem Meere gehoben worden und sinkt gegenwärtig 2 cm im Jahre. Die Ursache sind wahrscheinlich Magmabewegungen.

Oszillationen (Schwankungen) des Meeresspiegels machen sich natürlich weltweit bemerkbar. In großem Maßstabe können solche eustatische³ Bewegungen durch Aufhäufung von Sedimenten auf dem Meeresboden, Einbruch von Festländern, Hebung des Meeresbodens in positivem, durch Einsinken der Meeresbecken in negativem Sinne bewirkt werden. Doch könnte das Versinken aller Festländer nur ein Ansteigen des Meeresspiegels um 150 m bewirken. Auf Änderungen der Rotation der Erde sind Verschiebungen der Wasserhülle polwärts oder gegen den Äquator zu zurückzuführen. Dadurch sind wohl die auf Tausende von Kilometern zu verfolgenden hochgelegenen jungen Meeres- und Flußterrassen im Mittelmeere und seinem Zuflußgebiete verursacht worden.

Störungen der Erdrinde durch Brüche

Erdbebenkatastrophen haben Störungen der Erdkruste gezeigt. An Bruchflächen (Kluftflächen), die zum Teil klaffende Spalten bilden, verschieben sich dabei Stücke der Erdrinde gegeneinander. Es sind dies Spalten, an denen Bewegung stattfindet, die als Verwerfung, Bruch, Dislokation⁴ bezeichnet werden, wenn die Bewegung mehr minder in der Höhenrichtung erfolgt. Die Spalten bilden sich infolge von Spannungen, die durch die Trennung der beiden Seitenflügel aus-

¹ Ingressio, lat., das Eindringen.

² Saeculum, lat., Jahrhundert; langandauernd, langsam.

³ Eu, gr., wohl, stasis, gr., Stehen, Stand; im Gleichgewichte.

⁴ Dislocare, lat., entfernen; Lageveränderung einer Schicht.

gelöst werden. Echte Verwerfungen heißen solche, bei denen der über der Verwerfungskluft liegende (hangende) Flügel abgesunken ist (Fig. 67). Überschiebung oder Wechsel, wenn er auf der Kluft über den liegenden Flügel geschoben ist (Fig. 68). Die wahre Be-

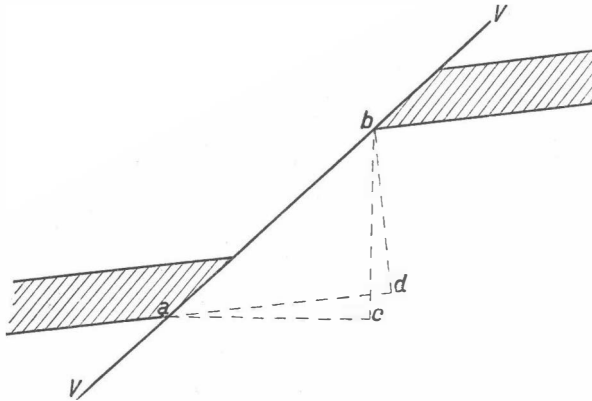


Fig. 67 Absinken (Verwerfung) einer Schicht durch eine Kluft $V-V$. $b-d$ ist die wirkliche Sprunghöhe.

wegung ist aber nicht sicher zu erkennen. Es kann gerade so gut bei der Verwerfung der liegende Flügel gehoben und bei einer Überschiebung gesenkt sein. Die Kluftflächen sind als Rutsch- oder Gleitflächen unter dem Drucke oft poliert worden und werden als Harnisch,

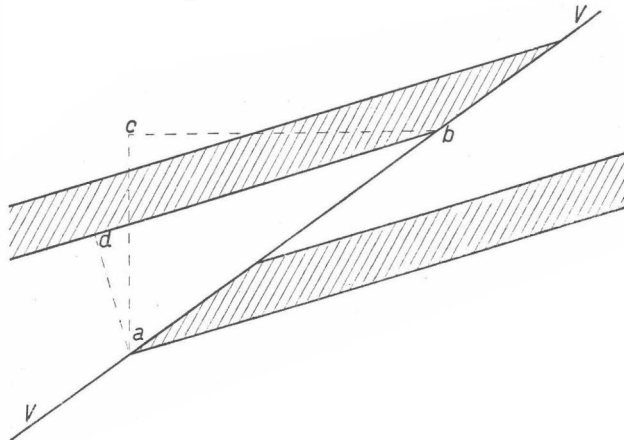


Fig. 68 Überschiebung von links nach rechts auf einer Wechselfläche $V-V$. $a-d$ ist die wirkliche Sprunghöhe.

Spiegel, Reibungsspiegel bezeichnet. Sie zeigen in der Fallrichtung flache Wellen, Riefen, Streifung und Kritze, die untereinander parallel sind. In solchen Klüften findet sich ein Zerreibungsprodukt des Gesteins, das, wenn es feinkörnig ist, Gangtonschiefer, wenn es grob und eckig ist, Reibungs-, Dislokations- oder Druckbreccie

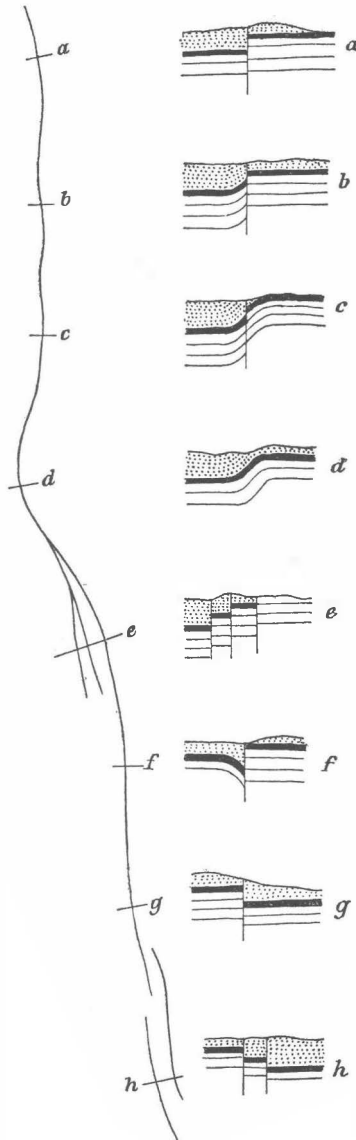


Fig. 69 Veränderung einer Verwerfung in ihrer Erstreckung. *a* einfache Verwerfung, *b* Schleppung des abgesunkenen Flügels, *c* Schleppung beider Flügel, *d* Flexur, *e* treppenförmiges Absinken an divergierenden Spalten, *f* Schleppung des Liegendflügels durch nachträgliches Absinken des Hangendflügels, *g* einfache Verwerfung des Gegenflügels, *h* treppenförmiges Absinken an parallelen Spalten (nach F. Löwl)

genannt wird. Bei Überschiebungen treten oft beträchtliche Massen einer groben Breccie, Mylonit¹ genannt, auf und sind oft schwer von Moränenschutt zu unterscheiden. Bei der Bewegung an Kluffflächen

¹ Myle, gr., Mühle; zermahlendes Gestein.

werden bisweilen die Enden der Schichten, die Schichtköpfe des stehengebliebenen Flügels in der Richtung der Bewegung, die des bewegten in entgegengesetztem Sinne gebogen, geschleppt (Schleppung) (Fig. 69). Der Betrag der Bewegung wird Sprunghöhe genannt (Fig. 67, 68) und kann Millimeter oder Tausende von Metern betragen. Eine im Streichen liegende Verwerfung wird Längs- oder streichende, eine dazu senkrecht liegende Querverwerfung genannt (Fig. 70). Durch Verwerfungen kann eine Wiederholung oder ein Ausfall von Schichten eintreten. Verwerfungen treten meist in größerer Zahl auf, sie liegen parallel oder schneiden (kreuzen, verwerfen) einander, sodaß man, wie bei Gängen, ältere und jüngere unterscheiden kann. Sie liegen radial oder peripherisch, wodurch Kesselbrüche entstehen. Durch sie können Schollen der Erdrinde zu Bruchfeldern absinken. Solche Senkungsfelder sind das Inneralpine Wienerbecken (Fig. 71),

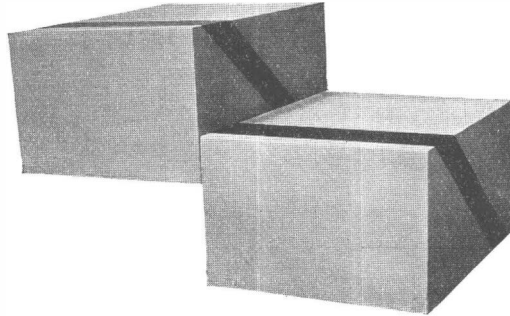


Fig. 70 Querverwerfung einer Schicht (schwarz angelegt)

das Becken am Südfuße des Erzgebirges, das Gebiet der Adria, das Ägäische Meer und andere. An parallelen Brüchen kann treppenförmiges Absinken (Staffelbruch, Fig. 69) vor sich gehen oder ein dazwischenliegender Streifen kann gesenkt sein (Graben, Grabenbruch, Fig. 72). Sind die Seitenteile gesenkt oder der mittlere Streifen gehoben, so wird dies als Horst bezeichnet. Die Störungen an parallelen Brüchen können durch seitlichen Druck oder Absinken infolge Zerrung bewirkt werden.

Die mittelhheinische Tiefebene ist ein solcher Graben zwischen den Horsten des Schwarzwaldes und der Vogesen, das Etschtal unterhalb Bozen und vor allem der ostafrikanische Graben, der sich in Süd-Nordrichtung vom 15° südl. Br. fast bis zum 38° nördl. Br. über 6000 km lang hinzieht. Durch Bruchfelder können abflußlose Becken, besonders Senkungen unter den Meeresspiegel, Depressionen, wie das Tote Meer entstehen.

Bisweilen erfolgt an einer Zone der Schwäche keine Trennung der Flügel, sondern nur eine Abbiegung der Schichten, eine Kniefalte oder Flexur¹, wobei ein oft steiler Schenkel die horizontal liegenden Seiten verbindet (Fig. 69).

¹ Flexura, lat., Biegung.

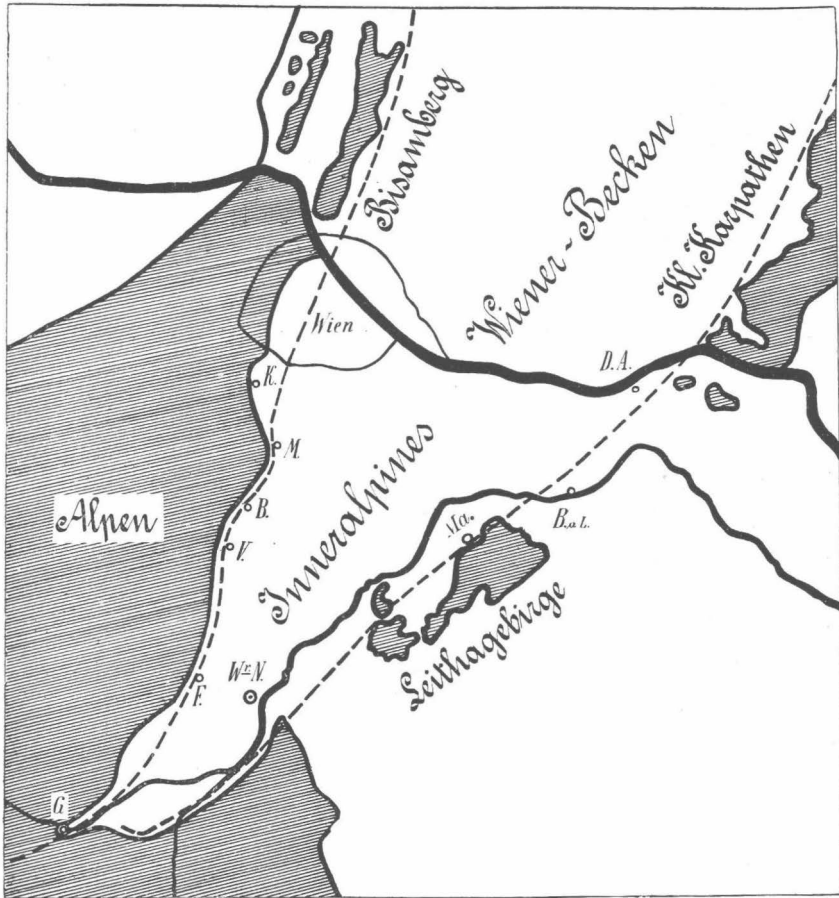


Fig. 71 Bruchfeld des Inneralpinen Beckens von Wien, das an zwei (gestrichelten) Bruchlinien abgesunken ist. *K.* Kalksburg, *M.* Mödling, *B.* Baden, *V.* Vöslau, *F.* Fischau, *G.* Gloggnitz, *W. N.* Wiener-Neustadt, *Ma.* Mannersdorf, *B. a. L.* Bruck an der Leitha, *D. A.* Deutsch-Altensburg

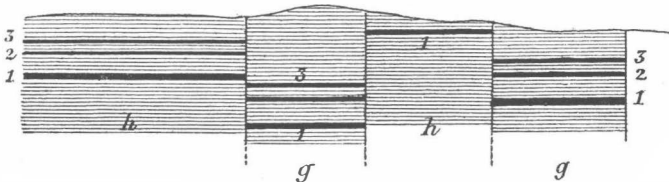


Fig. 72 An vertikalen Brüchen abgesunkene Schollen. *g, g* Gräben; *h, h* Horste (nach F. Löwl)

Durch eine Überschiebung wird eine Scholle der Erdrinde als Decke (Schubdecke) über eine benachbarte geschoben, sodaß eine in der Schichtfolge tiefer liegende, ältere auf eine höhere, jüngere zu ruhen kommt (Fig. 73). Nur die Kenntnis der Schichtfolge zeigt uns

die veränderte Lagerung an. Mehrere parallele Überschiebungsflächen führen zu einer mehrfachen Wiederholung der Decke (Schuppenstruktur). Der Betrag der Überschiebung kann viele Kilometer erreichen und Hunderte von Metern mächtige Schichtglieder können auf

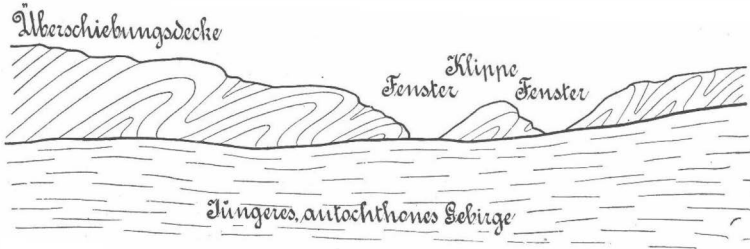


Fig. 73 Überschiebungsdecke mit Fenster und Überschiebungsklippe

diese Weise flach gelagert, also anscheinend ungestört, über jüngere Schichten geschoben werden. Wenn durch eine Lücke in der Decke die darunter liegenden Schichten sichtbar werden, so heißt man dies ein

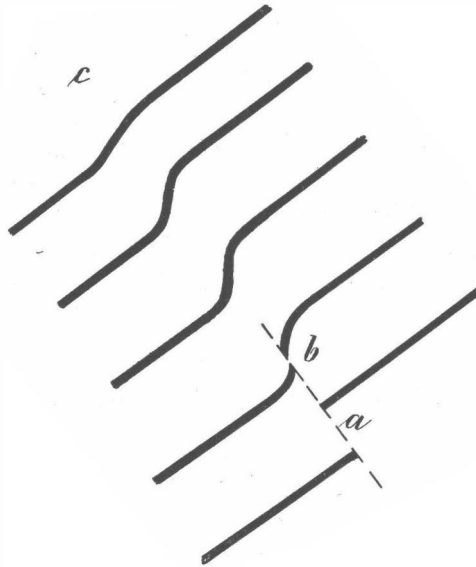


Fig. 74 Blattverschiebung einer seigeren Schicht *a*, mit Schleppung *b*, übergehend in sigmoidale Beugung *c*

Fenster. Reste von Decken nennt man Deckklippen, schwimmende Klippen oder Deckschollen.

An einer Bruchfläche kann ein Flügel gegenüber dem anderen in horizontaler Richtung verschoben sein. Dies ist eine Transversal¹ oder Blattverschiebung (Blatt) (Fig. 74), die im Streichen, schräg oder senkrecht dazu erfolgen kann. Auch hier kann Schleppung ein-

¹ Transversus, lat., schräg.

treten und der Betrag mehrere Kilometer erreichen. Ohne Störung des Schichtverbandes wird bei einer solchen Bewegung eine S-förmige, sigmoidale¹ Beugung bewirkt.

Klüfte im Gestein können oft enden und sich wieder einstellen (wieder aufsetzen) oder sich in paralleler oder ähnlicher Richtung fortsetzen.

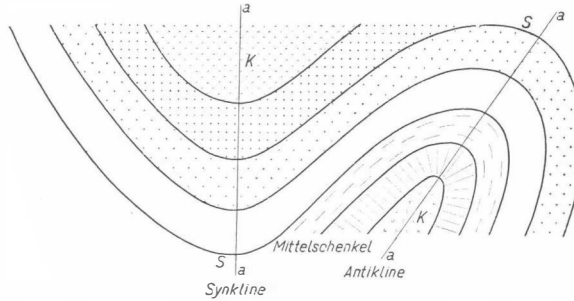


Fig. 75 Falten-Mulde und -Sattel. *a—a* Achsen, *S* Scheitel, *K* Kerne

Störungen der Erdrinde durch Faltung

Störungen von Schichten können auch ohne Bruch erfolgen, z. B. durch Aufrichtung. Steilere Schichten (mit 90° Neigung) stehen auf dem Kopfe, übersteigt der Winkel 90°, so heißt man sie überkippt und es liegen die älteren oben, die jüngeren unten, es entsteht inverse² Lagerung. Dadurch kann fächerförmige Schichtstellung hervorgerufen werden. Vielfach sind Schichten gebogen, gewölbt. Wird eine solche Wölbung steiler, entsteht eine Falte (Fig. 75).

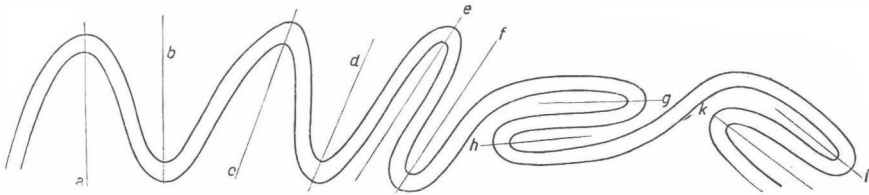


Fig. 76 Lage der Falten. *a* aufrechter Sattel; *b* aufrechte Mulde; *c* schiefer Sattel; *d* schiefe Mulde; *e* überkippter Sattel; *f* überkippte Mulde; *g*, *h* liegende Falte; *i* überstürzter Sattel (falsche Mulde); *k* überstürzte Mulde (falscher Sattel); *e—k* sind Isoklinalfalten.

Eine Falte besteht aus der konkaven Mulde (Synklinale, Synklinalfalte³) und dem konvexen Sattel (Gewölbe, Antiklinale,⁴ Antiklinalfalte), die durch einen mehr minder geradlinigen Mittelschenkel verbunden sind. Schlechtweg heißt jeder der beiden gewölbten Teile für sich Falte. Die beiden gegeneinander geneigten Flanken werden als Schenkel oder Flügel bezeichnet. Die Wölbung heißt Scheitel oder Dach, das Innere Kern. Als Achse wird die Symmetral-

¹ Sigmoeides, gr., von der Gestalt des Sigma.

² Inversus, lat., umgekehrt, verkehrt.

³ Syn, gr., zusammen, klinein, gr., neigen; gegeneinander geneigt, Mulde.

⁴ Anti, gr., entgegen; Schichtwölbung.

ebene der Falte, die den Winkel der Schenkel halbiert, bezeichnet. Sind die Schenkel gleichmäßig nach entgegengesetzter Richtung gegen die Horizontale geneigt, heißt die Falte *aufrecht*, sind sie ungleich geneigt, nennt man die Falte *schief* (Fig. 76). Fallen sie nach derselben Richtung, heißt sie *überkippt*. Liegen die Schenkel sehr stark nach derselben Richtung geneigt oder horizontal, nennt man die Falte *liegend*. Bei ihr besitzt der obere (*hangende*) Schenkel die ursprüngliche, normale, der untere, liegende eine *verkehrte, inverse Lagerung*. Sind die Schenkel infolge starker Zusammenpressung mehr minder parallel, heißt dies *Isoklinalfalte*¹, die *aufrecht, schief (überkippt), liegend* oder *überstürzt* sein kann (Fig. 76).



Fig. 77 Faltenleitlinien: *a* vikariierende Falten; *b* Verzweigung (Virgation); *c* s-förmige Beugung; *d, d* Scharung; *e* ein Falten-System wird durch ein jüngerer, quer verlaufendes gekreuzt und taucht darunter.

Wird der Mittelschenkel ausgequetscht, ausgewalzt oder zerrissen, können Schichten mit normaler Lagerung über eine benachbarte Scholle mit gleicher Lagerung geschoben werden (Faltenüberschiebung). Sie kann von einer echten Überschiebung meist nicht unterschieden werden. Der überschobene Schenkel ist eine Faltendecke und durch Wiederholung kann Schuppenstruktur entstehen.

Falten sind meist mehr minder parallel zu einer tektonischen (Falten-) Zone vereint. Ihr Verlauf wird auf der Karte durch die Lage ihrer Scheitel-, Sattellinie angezeigt (Leitlinie) (Fig. 77). Jede Mulde, jeder Sattel enden in ihrer Längserstreckung durch Verschmälerung, sie erlöschen. Falten verzweigen

¹ Isos, gr., gleich; gleichsinnig geneigt.

sich bündelförmig oder treffen einander unter einem stumpfen Winkel, sie scharen oder sie können einander kreuzen (Querfaltung). Falten sind oft nur wenige Zentimeter oder Millimeter groß (Nebenfallen, Fältelung), erreichen aber auch Tausende von Metern im Verflachen und viele Kilometer in der Länge. Sie sind bisweilen regelmäßig gebaut oder zeigen einseitige Anlage, als ob ein Schub von einer Seite gekommen wäre, was sich in ihrem Ausklingen im Vorlande ausprägt. Diesem entspricht dann ein Rückland; es sind orientierte Falten, anscheinend infolge eines einseitigen Schubes, der aber nicht möglich ist, wenn Schichten in seitlichem Verbands stehen. Die Pressung erfolgt dann stets beiderseits von entgegengesetzten Richtungen.

Deutung der Störungen der Erdrinde

Das Alter einer Schichtstörung wird dadurch bestimmt, daß sie jünger als das jüngste von ihr ergriffene und älter als das älteste nicht mehr gestörte Schichtglied sein muß (Fig. 78). Die Bestimmung ist umso genauer, je kleiner eine bestehende Lücke ist. Liegen die Schicht-

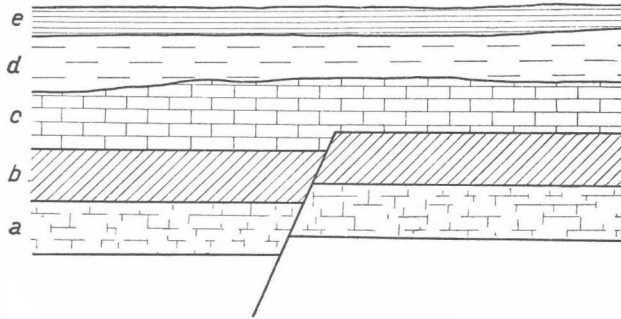


Fig. 78 Bestimmung des Alters einer Verwerfung, jünger als das Schichtglied *b* und älter als *c*

flächen parallel, heißen sie konkordant¹, schließen sie einen Winkel ein, nennt man sie diskordant² (übergreifend).

Mächtige Gesteinstafeln und dickbankige Gesteine sind viel mehr Brüchen ausgesetzt, dünne oder nachgiebige der Faltung. Es können mehrere Faltungsperioden während der Bildung einer Schichtreihe stattgefunden haben und wiederholte Diskordanz vorliegen.

Den Bau der Erdrinde kann man wegen der oberflächlichen Bodenbedeckung nur in Aufschlüssen beobachten. Das sind Entblößungen des Untergrundes, der sonst der Beobachtung nicht zugänglich wäre. Diese sind natürlich, ohne Zutun des Menschen z. B. durch Rutschung an einer Berglehne oder künstlich durch die Tätigkeit des Menschen entstanden wie Bergwerke, Steinbrüche, Bohrungen. Im Hochgebirge und in Wüsten und überall wo das Gestein kahl zutage tritt, kann man von Aufschlüssen nicht sprechen. Es ist oft schwer, aus den wenigen Punkten und oft nur aus Schichtköpfen die tektonischen Verhältnisse

¹ Concordare, lat., übereinstimmen, regelmäßig; Konkordanz, Regelmäßigkeit.

² Discordare, lat., uneinig sein; unregelmäßige Überlagerung.

eines Gebietes zu rekonstruieren. Fehler sind bei dem notwendigen Spiele der Phantasie nicht zu vermeiden und es bedarf einer leider oft fehlenden Selbstkontrolle, sich möglichst an die Tatsachen zu halten und sich nicht in Phantastereien zu verlieren.

Oft ist das Relief eingeebnet und wir ersehen aus der einförmigen Fläche nicht mehr, daß wir über die Ruinen eines Hochgebirges schreiten (Fig. 79). Werden Überfaltungen abgetragen, so wird die Wurzelregion von den daraus hervorgegangenen wurzellosen Decken getrennt. Kleinere Gesteinsmassen, die sich über jüngere erheben, werden als Klippen bezeichnet. Sedimentations- oder Anlagerungsklippen ragen vom Boden eines Gewässers auf, von dessen Ablagerungen sie umhüllt werden. Durchspießungsklippen oder Scherlinge sind vom Untergrunde losgerissen und in die darüber liegenden Schichten gepreßt. Sind sie von geringer Größe, heißen sie exotische Blöcke.

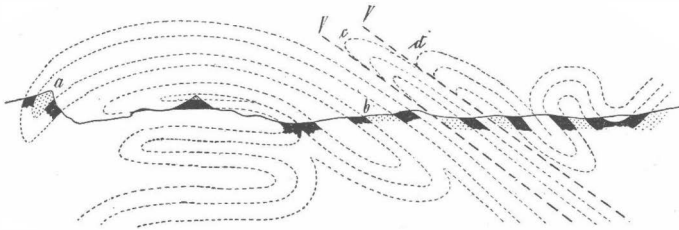


Fig. 79 Abgetragenes Faltenhochgebirge. Die ausgezogenen Linien zeigen an, wie weit eine Beobachtung des Baues möglich ist. Die punktierten Linien geben die Rekonstruktion der Falten. *a* Stirn einer Überfaltung; die weiter rechts sichtbare horizontale Lagerung ist keine ursprüngliche, sondern eine liegende Falte. Bei *b* folgen inverse und normale Lagerung aufeinander. Durch die Überschiebung *V*, *V* entsteht eine Wiederholung der normalen Schichtfolge in *c* und *d* (Schuppenstruktur).

Es ist überaus schwer, die Störungen der Erdrinde zu deuten. Wir sehen wohl bei Erdbeben Rindenstücke sich an Bruchlinien verschieben und kleine Falten in losen und plastischen Gesteinen sich bilden, aber dies wie auch Laboratoriumsversuche können uns die Mechanik der Faltungerscheinungen nicht erklären, da wir die Verhältnisse der Natur auch nicht annähernd nachahmen können. Die Beschaffenheit der Gesteine bedingt die Art der Störung. Änderung der Stärke einer Schicht, der Wechsel in der Gesteinsbeschaffenheit ergeben Zonen der Schwäche, wo Deformationen eintreten können. Starre Gesteine, wie Kalke oder Sandsteine, können dem Drucke lang Widerstand leisten und wenn dieser endlich von der Kraft überwunden wird, bilden sie Verwerfungen oder Falten von großer Amplitude. Nachgiebiges Material, wie Schiefer, weicht dem Drucke und zeigt bis in Einzelheiten gehende Fältelung.

Alle Gesteine besitzen einen Grad von Plastizität, bisweilen nur unter entsprechend hohem Drucke, wobei höhere Temperatur und

Feuchtigkeit helfend mitwirken. Die chemischen, mineralischen und mechanischen Veränderungen, die Gesteine durch Druck erfahren, werden als *Dynamo-¹*, *Druck-* oder *Dislokationsmetamorphose* bezeichnet. Es ist dies der stets wirkende Druck der Schwerkraft, das ist der auflastenden Gesteine oder der tangentialen, dem wir die Faltenbildung zuschreiben. In größerer, höchstens 20 km betragender Tiefe herrscht eine latente Plastizität aller Gesteine. Schon in zwei Kilometer Tiefe hat man in Tunnels deutliche Anzeichen davon festgestellt. Bei orientiertem Drucke findet eine Art Fließen des Gesteins und bruchlose Veränderung in der Struktur statt. Die Gesteine werden gestreckt oder zusammengepreßt und oft schlierenartig durcheinandergequetscht. Es entsteht dabei auch Schieferung, d. h. es bilden sich ebene Spaltflächen, die die Schichten oft quer schneiden und im Streichen der Schichtfalten liegen. Die ursprüngliche Schichtung bleibt im geschieferten Gestein oft angedeutet. Es ist dies eine Ausweicherscheinung in der Richtung des geringsten Widerstandes, bei der sich die einzelnen Teilchen senkrecht zur Krafrichtung anordnen. Erfolgt das Ausweichen vorherrschend in einer Richtung, werden die Gesteine gestreckt und mit parallelen Furchen und Streckungsriefen bedeckt. Auch Einschlüsse — wie z. B. Versteinerungen, Gesteinsbrocken u. dgl. — werden gestreckt. Auch kann dadurch faserige oder Fließstruktur eintreten, wie sie Massengesteine zeigen. Wohl bei plötzlichem Angriffe des Druckes und bei Starrheit der Gesteine, tritt eine Durchsetzung mit Brüchen ein, eine oft völlige Zermalmung, wobei die Klüfte durch Auskristallisieren von Mineralien (Quarz, Kalkspat u. a.) wieder verkittet werden (*Kataklaststruktur²*, *Druckbreccie*).

Es tritt Biegung von Gesteinen auch durch geringe Verschiebungen an Rissen ein, brüchige Umformung. Es gehen dabei aber auch molekulare Veränderungen vor sich, ein Umkristallisieren, wie z. B. bei der Metamorphose der Sedimentgesteine (bruchlose Umformung). Durch den Druck entstehen Trennungsflächen, an denen keine Verschiebung der Gesteinspartien erfolgt, ähnlich wie bei Massengesteinen.

Bergschläge, Gebirgsschläge sind plötzliche oder langsame Formveränderungen der Gesteine, wie flache Wölbungen in Steinbrüchen, die bersten.

Gehobene Gebirge

Durch die Störungen der Erdrinde, Hebungen und Faltungen, entstehen Erhebungen der Erdoberfläche, die als gehobene, tektonische Gebirge bezeichnet werden und zwar Schollengebirge, deren Anlage durch Brüche bedingt wird und Faltengebirge, die durch die Aufwölbung von Schichten entstanden sind. Werden Faltengebirge, wie

¹ *Dynamis*, gr., *Kraft*, *metamorphosis*, gr., *Veränderung*; Veränderung durch Einwirkung einer Kraft.

² *Kata*, gr., *hernieder*, *klaos*, gr., *ich zerbreche*; ganz zerbrochen; Gestein mit ganz zerbrochener Struktur.

die Alpen, der Himalaya, die Kordilleren, stark abgetragen und durch Brüche zerstückt, so entstehen Rumpfgebirge, Faltenhorste, die im Verbande mit jüngeren Schichten oft die Kerne neuer Hochgebirge sind. Massen oder Massive nennt man ausgedehnte Rumpfgebirge meist kristallinischer Gesteine. Sie sind die Grundpfeiler von Kontinenten und nicht mehr von jüngeren Faltungen erfaßt. Sie haben bisweilen diesen ihren Verlauf vorgeschrieben, wie das Französische Zentralplateau und die Böhmisches Masse den Alpen (Fig. 80). Aus alten, gefalteten Gesteinen, meist Massen- und kristallinischen Gesteinen werden Kuppengebirge mit runden, welligen Formen und aus steil aufgerichteten Schiefnern, Quarziten und Kalksteinen Rückengebirge gebildet. Brüche und Falten sind vorherrschend auf verschiedene Regionen der Erdoberfläche verteilt. Es gibt Tafel- und Schollenländer, die weitaus den größten Teil einnehmen und Faltengebirge,

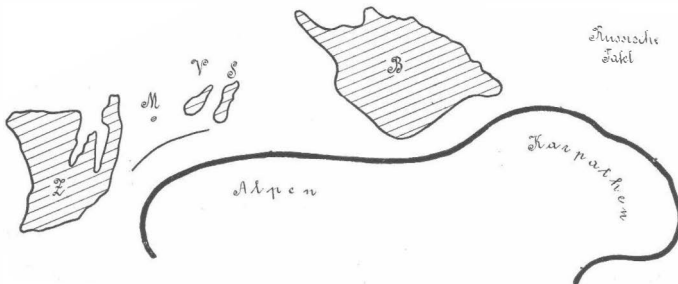


Fig. 80 Leitlinien der Alpen und Karpathen, bestimmt durch die alten Massen des Französischen Zentralplateaus (Z), der Masse von Dole (M), der Vogesen (V), des Schwarzwaldes (S), der Böhmisches Masse (B) und der Russischen Platte.

die auf wenige Linien beschränkt sind. Jeder Teil der Erdrinde ist — wie erwähnt — einst gefaltet gewesen, aber die Falten sind abgetragen, eingeebnet und die Kerne der Festländer (Epeirogene) sind seit alter Zeit nicht mehr von Faltungen ergriffen worden. Sie werden durch die Erstarrung der beweglichen Zonen der Gebirgsbildung (Orogene) erweitert.

Die jungen Faltengebirge besitzen meist langgestreckte Gestalt und mehrere parallele Ketten (Kettengebirge), die durch Längstäler getrennt sind. Gebirge sind geradlinig, wie die Pyrenäen und der Kaukasus oder bogenförmig, wie die Alpen und Karpathen. Dies hängt davon ab, ob sich der faltenden tangentialen Kraft feste Massen hindernd entgegenstellen. Fig. 80 zeigt, wie die Alpen an der Böhmisches Masse aus der westöstlichen Richtung umschwenken, worauf sich die Karpathen gegen das Vorland der Russischen Tafel bogenförmig vorschieben. Bei Widerstand werden Falten gestaut, zusammengepreßt, überstürzt und überschoben. Die oft einseitige Anlage und der bogenförmige Verlauf von Faltengebirgen haben zur Annahme eines einseitig orientierten Druckes (Schubes) geführt, der aber, wie erwähnt, in einer im

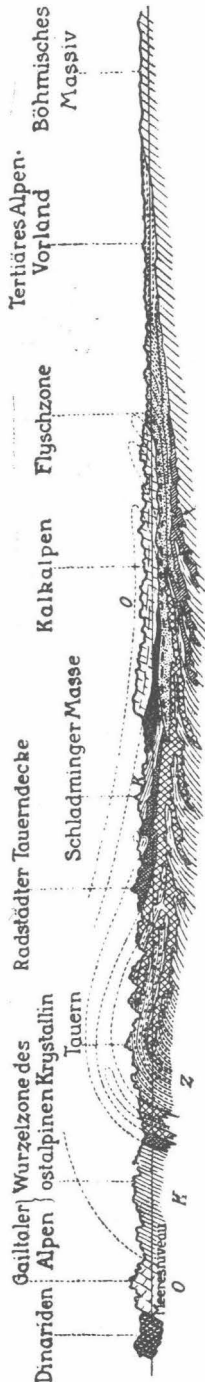


Fig. 81 Idealer Querschnitt durch die Ostalpen (nach V. Uhlig). Zeigt, wie die nördlichen Zonen aus den südlichen hervorgegangen sein sollen.

Verbande befindlichen Scholle nicht möglich ist, sondern in eine Pressung von beiden Seiten her umgewandelt wird. Wie sich diese in der Neigung der Falten, Überfaltungen usw. äußert, hängt von der Gesteinsbeschaffenheit, Mächtigkeit, Festigkeit, Lagerung der Schichten u. dgl. ab.

Besonders in den Alpen hat man weitgehende horizontale Bewegungen von Schollen der Erdrinde kennen gelernt, die auf Überschlagung von Falten zurückgeführt werden. Es ist dadurch eine Art Schuppenstruktur entstanden und wurzellose, sich nicht in die Tiefe fortsetzende Schubmassen (Decken) liegen auf jüngeren Gesteinen. Nach Zehnern von Kilometern messende Vorwärtsbewegungen von Schollen sind allgemein anerkannt und es ist noch die Frage offen, ob diese Deutung auch auf einen Schub von hundert und mehr Kilometern anwendbar ist (Fig. 81).

Bei wiederholten Faltungsperioden erfolgen die Bewegungen oft in gleicher oder ähnlicher Richtung, aber bisweilen auch schräg, ja sogar senkrecht zueinander. So ist in Europa im älteren Paläozoikum¹ das kaledonische Gebirge von Südirland über Schottland und Norwegen an die alte Scholle Nordeuropas im Westen und durch die im jüngeren Paläozoikum folgende Phase ein mächtiges Gebirge in mehr minder ostwestlicher Richtung im Süden angepreßt worden. Dadurch ist die bewegliche Zone in Mitteleuropa verfestigt worden und die letzte Faltung an der Wende der Kreidezeit zum Tertiär hat nordwärts nur mehr das Gebiet der Alpen und Karpathen erfaßt. Es ist berechnet worden, daß durch diese Faltungen das Stück der Erdrinde im Bereiche der Alpen von etwa 600 km auf zirka 150 km verschmälert worden ist. Diese Störung hat wohl nur wenige Kilometer tief in die Erdrinde hinabgereicht.

Aus den beweglichen Zonen der Erdoberfläche, den Geosynklinalen, die in Senkung begriffen, die Ablagerungströge für die großen Massen von Abtragungsprodukten der Festländer darstellen, erheben sich die Faltengebirge. Die oft gänzlich unveränderte Natur der Gesteine zeigt, daß diese Auffaltung ohne starken Druck erfolgt ist. Es muß also eine Art selbständige Bewegung der Massen der Erdrinde

¹ Siehe S. 126.

vor sich gehen. Mit diesen Erfahrungen stimmt am besten die Theorie überein, die annimmt, daß sich die Massen der Erdkruste bei einer Abnahme der Abplattung der Erde polwärts bewegen. Und diese Annäherung des Erdsphäroids an die ideale Kugelgestalt soll infolge Verringerung ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit erfolgen, auf die die in der Wasserhülle und im Erdkörper durch die Anziehung von Mond und Sonne hervorgerufenen Gezeiten eine bremsende Wirkung ausüben.

Schon seit dem Kambrium, dem Beginne des Altertums der Erde, kann man solche breite, bewegliche Zonen unterscheiden, die im Laufe der Erdgeschichte in Perioden der Gebirgsbildung zusammengepreßt und als verfestigte Teile den alten, starren Schollen angeschweißt werden (Titelbild). Die starren Festlandsschollen erweitern sich und die beweglichen Zonen werden immer enger umgrenzt. Es schreitet die Erstarrung der Züge der Erde fort. Heute sind nur mehr zwei schmale Zonen, die eine rings um den Pazifischen Ozean und die andere westöstlich von Südeuropa und Nordafrika über Südasien nach der hinterindischen Inselwelt führend beweglich. Es sind dies die Zonen der jungen Hochgebirge, wo noch spätere Gebirgsbildungen zu erwarten sind.

Erdbeben

Die zahllosen Störungen, die wir in der Erdrinde überall platzgreifen sehen, alle die plötzlichen Hebungen, Senkungen, alle Verwerfungen und Falten, bedeuten eine Änderung in der Ruhelage der Erdoberfläche, Erschütterungen, Erdbeben, alles eins ob Haarrisse nur im Dünnschliffe unter dem Mikroskope zu sehen sind oder Klüfte die Erdrinde tausend Meter tief durchsetzen. Diese sind wohl in unendlich langer Zeit durch Summierung einer großen Zahl von Einzelbewegungen entstanden. Erdbeben nennen wir Erschütterungen des Erdbodens, deren Entstehung in Energieäußerungen des Erdinnern gelegen ist. Durch eine Explosion, einen Bergsturz, durch das Fahren eines schweren Wagens über ein unebenes Pflaster werden Erschütterungen hervorgerufen, die durch die Sinne von Erdbeben nicht zu unterscheiden sind, aber bei der Aufzeichnung durch Instrumente leicht richtig gedeutet werden können. Auf Stürme und Temperaturschwankungen, auf Ebbe und Flut sind geringe Bewegungen der Erdoberfläche zurückzuführen, die Bodenunruhen (Pulsationen)¹ genannt und fortwährend durch empfindliche Apparate verzeichnet werden. Die langsamen, schwer nachweisbaren Niveauverschiebungen müssen von den echten seismischen² Erdbewegungen unterschieden werden, die entweder mikroseismisch³, nur instrumentell nachweisbar oder makroseismisch⁴, mit den Sinnen wahrnehmbare Erdstöße sind.

¹ Pulsatio, lat., das Stoßen.

² Seismos, gr., Erschütterung; bewegt.

³ Mikros, gr., klein; gering bewegt.

⁴ Makros, gr., groß; stark bewegt.

Man unterscheidet vulkanische Beben, Einsturz- und Dislokationsbeben. Die erstgenannten sind Begleiter vulkanischer Erscheinungen, wohl durch Stöße verursacht, die das Magma und seine Gase gegen die Erdoberfläche ausüben (magmatische Beben)¹. Sie sind oft Vorläufer von Eruptionen und finden im allgemeinen mit der Eruption ihr Ende. Die meist schwächeren Erschütterungen sind auf die Nähe des Vulkanes beschränkt. Die Insel Ischia ist wiederholt, zuletzt 1883, durch schwere Erdbeben heimgesucht worden, die im nahen Neapel nicht verspürt wurden.

Einsturzbeben sind auf Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume und Nachsitzen bei einer Lockerung des Gefüges der Erdrinde zurückzuführen, die durch Auslaugung, Zusammenziehung von Magmen usw. entstehen können. Oberflächlich treten damit im Zusammenhange Vertiefungen, Einsturztrichter, Pingen, Erdfälle auf (vgl. S. 57). Sie sind örtlich beschränkt, von kurzer Dauer und meist mit starken Schallphänomenen (Detonationen, Knalle, Donner) verbunden.

Die häufigste und größtenteils heftigste Form von Erdbeben sind die Dislokations- oder tektonischen Beben. Sie werden durch Bewegungen verursacht, die die feste Erdrinde infolge innerer Gleichgewichtsstörungen ausführt, sind also die Folge von gebirgsbildenden Vorgängen. Durch ihre Summierung, wenn sie auch oft unmeßbar klein sind, ergeben sich die gewaltigen Schichtstörungen der Erdoberfläche, Verwerfungen, Überschiebungen und Falten. Durch innere und äußere Ursachen finden fortdauernd Massenverlegungen in der Erdrinde statt, deren Ruhezustand labil ist. Sie ist ein Trümmerwerk, bis in die kleinsten Einzelheiten zerrüttet. Sicher wird die Erdrinde auch durch mechanische und chemische Vorgänge im Magma der Tiefe in ihrer Ruhelage gestört und vulkanische Erscheinungen und Erdbeben sind miteinander zum Teil deren Folge (vulkanisch-tektonische Beben, Spannungsbeben).

Erdbebenherd, Bebenwellen, Schüttergebiete, Erdbebenlinien, Seebeben

Die Erdbeben gehen von einem unterirdischen Herde, dem Hypozentrum² aus und die benachbarten Gesteinspartien werden infolge Reibung in elastische Schwingungen versetzt, die sich allseitig in Kugelwellen fortpflanzen und sich auf der Erdoberfläche an der Grenze zweier Medien durch Brechung bemerkbar machen. Diese Kugelwellen sind exzentrisch, da infolge der nach dem Erdinnern wachsenden Dichte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit wächst. Dadurch wird der Stoßstrahl, das ist der Weg der seismischen Erregung im Erdinnern, konvex ge-

¹ Magma, gr., Gemisch; aus glutflüssiger Gesteinsmasse bestehend.

² Hypo, gr., unter, centrum, neulat., Mittelpunkt; Mittelpunkt im Innern der Erde.

krümmt (Fig. 82). Es gehen vom Hypozentrum aus: erstens Longitudinalwellen¹ mit großer Fortpflanzungsgeschwindigkeit (7 bis 13,3 km pro Sekunde an der Erdoberfläche). Sie erreichen einen Ort zuerst, sind die ersten Vorläufer eines Bebens. Zweitens entstehen Transversalwellen² mit 4 bis 7,3 km scheinbarer Fortpflanzungsgeschwindigkeit (zweite Vorläufer). Wo diese Wellen die Erdober-

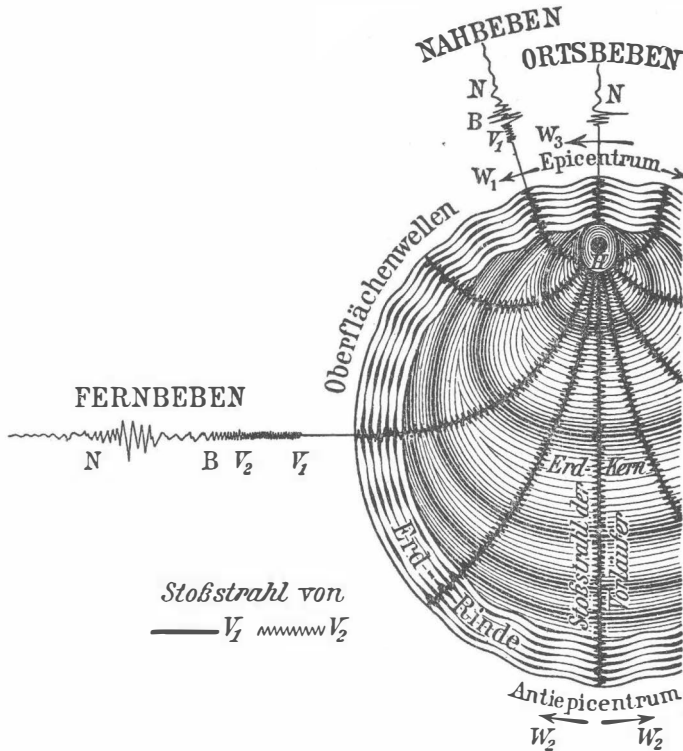


Fig. 82 Schematische Darstellung der Fortpflanzung der Erdbebenwellen und ihres Erscheinens im Seismogramm (nach A. Sieberg). H Hypozentrum; V_1 die ersten, V_2 die zweiten Vorläufer, B lange Wellen des Hauptbebens; N Nahbeben; W_1, W_2, W_3 Oberflächenwellen erster, zweiter, dritter Ordnung

fläche senkrecht treffen (im Epizentrum³) scheint die Erschütterung von unten nach oben gerichtet, stoßförmig.

Vom Epizentrum gehen nach allen Seiten in sich erweiternden Kreisen Oberflächenwellen aus. Sie haben etwa 3,4 km mittlere Geschwindigkeit. Die Erschütterungen erscheinen wellenförmig. Sie lösen die größten Schwingungen aus und verursachen das Hauptbeben. Die Oberflächenwellen nehmen vom Epizentrum allseitig an Stärke ab und nach Zurücklegung eines Erdmeridianquadranten gegen

¹ Longitudinal, lat., der Länge nach.

² Transversus lat., schräg.

³ Epi, gr. auf; auf der Oberfläche gelegener Mittelpunkt.

den Antipodenpunkt infolge Drängung der Energie auf eine kleinere Fläche wieder zu. Doch ist die Energie dort nur mehr zirka der 490. Teil der ursprünglichen und die Wellen fließen bei genügender Stärke von dort gegen den Ausgangspunkt zurück, bis die Energie ganz verbraucht und wohl in Wärme oder Elektrizität übergeführt ist.

Die einzelnen Wellenarten treffen also in umso größeren Abständen von einander in einem Punkte ein, je weiter dieser vom Epizentrum entfernt ist. Es kann dessen Entfernung also aus der Länge der Phasen berechnet werden. Die Strahlen der Vorläufer werden im Innern der Erde reflektiert und gelangen wieder an die Oberfläche, wo sie das Bild weiter komplizieren.

Die Tiefe des Herdes, die Zentraltiefe, kann noch nicht exakt bestimmt, sondern nur geschätzt werden. Früher hat man sie aus dem Verlaufe von Sprüngen in Gebäuden oder dem Winkel, unter dem der Stoßstrahl die Erdoberfläche trifft, zu konstruieren versucht. Man hat die Tiefe in 100 m, aber auch in 100 km gelegt; bei der größten Zahl der Beben scheint sie um 8 km zu liegen. Der Herd dürfte einer Störungsfläche entsprechen, kann also nur in der starren Erdrinde gelegen sein.

Der Teil der Erdoberfläche, in dem eine Erschütterung nachgewiesen werden kann, heißt Schüttergebiet, das oft eng begrenzt ist (lokale Beben), aber auch die ganze Erdoberfläche umfassen kann (Weltbeben). In dem über dem Hypozentrum gelegenen Gebiete sind die Erschütterungen stoßartig und die Vorläufer nicht abzutrennen. Hier herrscht die größte Stärke und wir sprechen von einem Ortsbeben. In einiger Entfernung ist der Winkel der Stoßstrahlen kleiner und die Stöße werden wellenförmig. Man spricht von einem Nahbeben mit einem Vorbeben, das noch mit den Sinnen wahrnehmbar ist. In einer Entfernung von über 500 km werden die Bewegungen nicht mehr verspürt und nur von Erdbebenmeßinstrumenten (Seismometern)¹ verzeichnet. Es lassen sich meist zwei Vorbeben erkennen und wir sprechen von Fernbeben.

Das Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 wurde über 2 $\frac{1}{2}$ Millionen Quadratkilometer verspürt und die Katastrophen von Messina 1906 und Tokio 1923 wurden über die ganze Erdoberfläche verzeichnet. Gebiete, die häufig von Erderschütterungen heimgesucht werden, heißen habituelle Schüttergebiete. Man erhält ein Bild der Fortpflanzung eines Bebens, wenn man die um das Epizentrum liegenden Punkte verbindet, in denen die Erschütterung gleichzeitig verspürt wird. Die Punkte größter Erschütterung werden durch die Stoßlinie, Erdbebenachse, miteinander verbunden. Sie folgt stets Störungslinien, ist also im Aufbaue des Gebietes begründet (Strukturbeben). Man spricht von Quer- (Transversal-) und Längs- (Longitudinal-) Beben, je nachdem die Erdbebenachse quer zum oder im Streichen eines Gebirges gelegen ist.

¹ Seismos, gr., Erschütterung, metron, gr., Maß; Erdbebenmesser.

Man kennt eine große Anzahl habitueller Stoßlinien. In den Ostalpen liegt im Streichen die Linie Villach—Leoben—Semmering (Mürzlinie), quer dazu die Linie Semmering—Wien (Badener Thermenlinie); eine dritte (Kamplinie) läuft von Wiener Neustadt quer zum Streichen in Nordwestrichtung nach Horn—Iglau—Prag—Leitmeritz und folgt nördlich von der Donau dem Streichen älterer Gebirgszüge. Wichtig ist die Rheinlinie (Rheingraben), der die Insel Nippon querende große Grabenbruch, das syrische Meridionaltal usw. Die Stärke der Erschütterung ist von dem Baue des Untergrundes sehr abhängig. Fester Fels wird wenig erschüttert, während lockerer Untergrund katastrophale Störungen aufweist. Es ist auch beobachtet worden, daß selbst beträchtliche Hebungen und Senkungen geringen Schaden verursachen, während horizontale Verschiebungen verheerend wirken. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen wächst mit der Dichte des Gesteins und ist im Streichen von Schichten größer als senkrecht dazu. Man hat die Geschwindigkeit für verschiedene Gesteine zu 2,21 bis 5,86 km pro Sekunde ermittelt. In der Tiefe, z. B. in Bergwerken werden die Stöße weniger verspürt.

Liegt der Herd eines Erdbebens unter der Wasserhülle, so entstehen Seebeben, die sich auf einem Schiffe als Stoß, auf der Wasseroberfläche als mehrere hohe Wellen, als Aufwölbung oder als eine Wassersäule äußern. Tote und betäubte Fische, zum Teil aus der Tiefe, treiben auf der Oberfläche. Das Zerreißen von Telegraphenkabeln zeigt Verwerfungen an. Auch vulkanische Vorgänge am Meeresboden rufen Seebeben hervor. Flutwellen erheben sich 10, 20 und mehr Meter hoch, überfluten niedere Inseln und Küstenstriche und verwüsten Niederlassungen. Die Ursache dieser Erdbebenflutwellen (Tsunamis) liegt vielleicht in Verwerfungen des Meeresbodens. Sie queren die Ozeane mit einer Geschwindigkeit von etwa 2,3 km in der Sekunde und können über die ganze Erde nachgewiesen werden.

Intensität der Beben, Erdbebenmessung

Die Stärke der Beben wird noch nach subjektiver Beobachtung in Anlehnung an eine zehnteilige Skala gemessen, die verschiedene Grade der Wirkung von der unfühlbaren mikroseismischen Bewegung bis zur Katastrophe, die dauernde Veränderungen der Erdoberfläche bewirkt, bezeichnet. Diese Skala ist geeignet, die Mitwirkung der Bevölkerung an der Beobachtung zu gewinnen und ihre Kenntnis sollte weiteste Verbreitung erfahren.

1. Stärkegrad, mikroseismische Bewegung, nicht von allen Seismographen notiert.

2. Stärkegrad, Stoß von verschiedenen Seismographen notiert, von wenigen Beobachtern im Zustande der Ruhe verspürt.

3. Stärkegrad, von mehreren Personen im Zustande der Ruhe beobachtet, Dauer und Richtung können geschätzt werden.

4. Stärkegrad, von Personen in Tätigkeit beobachtet, Fenster und Türen erschüttert, Dielen krachen.

5. Stärkegrad, die ganze Bevölkerung verspürt die Erschütterung, Möbel, Betten werden erschüttert.

6. Stärkegrad, Erwachen der Schlafenden, Anschlagen der Hausglocken, Schwanken von Kronleuchtern, Uhren bleiben stille stehen, Bäume und Gesträuche schwanken, einzelne Personen verlassen die Häuser.

7. Stärkegrad, bewegliche Gegenstände fallen um, Mörtel löst sich von den Decken und Wänden, Anschlagen der Kirchenglocken, allgemeiner Schrecken, aber noch keine Beschädigung der Bauwerke.

8. Stärkegrad, Herabstürzen von Kaminen, Risse in Mauern.
9. Stärkegrad, teilweise oder gänzliche Zerstörung einzelner Gebäude.
10. Stärkegrad, die meisten Gebäude werden zerstört, Spalten entstehen in der Erdoberfläche, Bergstürze.

Die wirkliche Bewegung jedes Bodenteilchens bleibt bei schwachen Beben unter 1 mm, bei 10 mm wird geringer Schaden verursacht, bei 50 bis 60 mm werden Bauten erheblich beschädigt und 150 mm weisen schon sehr heftige Beben auf. Im Jahre 1923 wurde die Insel Enoschima bei Yokohama bis zu 2 m plötzlich gehoben, ohne nennenswerten Schaden aufzuweisen, der größte Teil der Stadt Tokio bis zu 40 cm gesenkt, wobei auch der Schaden nur etwa 10 % von dem betrug, der durch die folgende Feuersbrunst verursacht worden ist.

Die Dauer von Erdbeben ist überaus wechselnd, oft ist es nur ein einziger Stoß, der drei bis vier Sekunden andauert und die größten Verheerungen anrichtet, andere dauern Minuten oder Stunden und oft kommt die Erde jahrelang nicht zur Ruhe. Beim kalabrischen Erdbeben 1783 bebte die Erde vier Jahre, in Phokis sind in den Jahren 1870 bis 1873 sicher 300 schwere und 50 000 leichte Stöße gezählt worden (Erdbebenschwarm). Ein Erdbeben kann in einem benachbarten Gebiete bestehende Spannungen auslösen und ein Relais-¹ oder Simultan-² beben verursachen. Auch Luftdrucks- und Temperaturschwankungen können Erdbeben auslösen. Vielleicht hat die Stellung von Mond und Sonne auch eine Bedeutung, wie sie manche Theorien von der Voraussage der Erdbeben annehmen.

Bei starken Beben bilden sich klaffende Spalten mit beträchtlichen Absenkungen und Verschiebungen. Sie laufen oft geradlinig durch Berg und Tal. In Owens Valley in Kalifornien wurde an einer 76 km langen Spalte ein Flügel bis zu 30 m gegenüber dem anderen verworfen und tausende Hektare um 5 m nach Norden verschoben. Am unteren Mississippi entstanden durch Senkungen Seen bis zu 180 km Länge. Die große St. Andreas-Bruchlinie in Kalifornien verläuft 435 km von Nordwest nach Südost und an ihr wurden im Jahre 1869 2600 km² als Block um 1,6 m nach Norden gerückt und 1906 eine Scholle von 74 000 km², fast von der Größe Bayerns, um durchschnittlich 3 m in westlicher Richtung bewegt.

Durch Summierung nicht fühlbarer Bewegungen werden beträchtliche Veränderungen in der Lage von Fixpunkten bei Vermessungen festgestellt, die in einzelnen Fällen bis 8 m erreichen.

Gebäude und Lebewesen können in Erdbebenspalten versinken. Quellen verändern ihre Ergiebigkeit, sind bisweilen getrübt, ihre Temperatur erhöht sich und sie erhalten oft einen schwefeligen (hepatischen³) Beigeschmack, durch den aus dem Schlamm des Grundes aufsteigenden Schwefelwasserstoff. Diese Beeinflussung reicht oft sehr weit. Beim Erdbeben von Lissabon wurden die Thermen von Teplitz in Böhmen trübe, hörten auf zu fließen und brachen dann,

¹ Relais, frz., Ablösung; durch ein Erdbeben an einem anderen Orte ausgelöstes gleichzeitiges Beben.

² Simul, lat., zugleich.

³ Hepar, gr., Leber; nach Schwefelwasserstoff riechend.

durch Schlamm rötlich gefärbt, mit großer Wassermenge hervor. Bergstürze und Erdbeben treten infolge von Erdbeben auf. Besonders die losen, unter großem Böschungswinkel abgelagerten Sedimente an Meeres- und Seeufern geraten ins Rutschen und ganze Landstriche können in den Fluten versinken, wie die Stadt Helike im Peloponnes im Jahre 373 v. Chr. (subaquatische¹ Rutschungen). Gletscher stoßen infolge Erschütterungen rasch vor. Flüsse werden gestaut und verlegt und zeigen gewundenen Lauf, wie der Mäander in Kleinasien. Seen werden heftig bewegt und in ihrer Ausdehnung verändert. Das Grundwasser spritzt bisweilen mit großer Gewalt hervor.

Gebäude werden von Spalten durchsetzt und machen die Bewegungen wie umgekehrte, auf der Erdoberfläche fixierte Pendel mit. Erschütterungen werden daher in höheren Stockwerken mehr verspürt als in tieferen Geschossen. Dabei spielt der Untergrund eine große Rolle. Auf festem Fels werden sie weniger erschüttelt als auf lockerem Boden, besonders wenn dieser nur geringe Mächtigkeit besitzt. Leichte Hütten, geeignete Holzkonstruktionen, Eisenfachwerk und Eisenbetonbauten (Wolkenkratzer) machen die Schwingungen wie ein biegsamer Stamm im Sturme mit. In erdbebenreichen Ländern (Unteritalien und Japan) bestehen Vorschriften für eine erdbebensichere Bauweise. Mauern, die senkrecht zur Stoßrichtung stehen, werden umgeworfen. Die Ecke eines Gebäudes, die der Stoßrichtung abgewendet ist, wird meist herausgeschleudert, leichte Holzbauten auf festem Unterbau werden oft zur Seite geschoben. Drehung freistehender Objekte, von Denkmälern, Schornsteinen usw. wird dadurch bewirkt, daß der Fixpunkt oder der Punkt größter Reibung auf der Unterlage nicht genau in die Lotrichtung des Schwerpunktes fallen, also um ihn bei seitlichem Stoße eine Drehung erfolgt. Wasserleitungen werden zerrissen und dadurch wird die Bekämpfung der ausbrechenden Brände verhindert, die meist den größten Schaden verursachen (San Franzisko 1906, Tokio 1923). Offene Erdbebenspalten und Trichter werden vielfach mit Schlamm und Sand ausgefüllt und es kommen daher klastische Gesteine auch gangförmig vor. Seltene Lichterscheinungen bei Erdbeben können vielleicht durch Reibungselektrizität hervorgerufen werden oder hervorbrechende brennbare Gase sich entzünden. Schallerscheinungen verschiedenster Art von Donnern, Pfeifen, Knallen und Klirren sind im epizentralen Gebiete häufig. In engem Zusammenhange mit Erdbeben treten magnetische Störungen, Erdströme auf, die den Telegraphen- und Telephonverkehr beeinflussen. Auch Nordlichter sind beobachtet worden. Tiere scheinen Erdbeben voraus zu verspüren und zeigen Unruhe. Auch manche Menschen sind dafür empfindlich. Die Verluste an Menschenleben sind von der Bevölkerungsdichte, der Art der Verbauung, der Tageszeit usw. abhängig. Das Erdbeben von Messina 1908 kostete 200 000 Menschen das Leben.

Aus der Bewegung von Kugeln oder dem Fallen eines vertikalen Stäbchens oder Überfließen von Quecksilber in der Stoßrichtung hat man frühzeitig die Richtung von Erdbebenstößen bestimmt. Heute sind selbsttätig registrierende Meßinstrumente, Seismographen², in Verwendung, die auf dem Prinzip des Pendels beruhend, die Richtung und Stärke der horizontalen und vertikalen Bewegung auf photographischem Wege mit bis 200facher Vergrößerung aufzeichnen. Aus den Aufzeichnungen der Vor- und des Hauptbebens bei Fernbeben und des Hauptbebens allein bei Nahbeben wird nach em-

¹ Sub, lat., unter, aqua, lat., Wasser; unter dem Wasser befindlich.

² Scismos, gr., Erschütterung; graphein gr., schreiben; Instrument, das die Erderschütterungen aufzeichnet.

pirisch gefundenen Formeln die Lage des Epizentrums und des Herdes bestimmt. Die sich durch die Erdkruste fortpflanzenden Wellen der Vorbeben erlangen infolge der größeren Dichte des Mittels eine größere Geschwindigkeit und eilen den Oberflächenwellen um so mehr voran, je weiter ein Beobachtungspunkt vom Zentrum entfernt ist. Da diese Geschwindigkeit je nach der Tiefe verschieden ist, ergibt sich die Möglichkeit, die Dicke der starren Erdkruste zu berechnen, für die ein Betrag unter 23 km ermittelt worden ist. Es ist natürlich von größter Bedeutung, möglichst viele Beobachtungen über Erdbeben zu vereinigen. Neben den Aufzeichnungen selbsttätiger Instrumente ist es von Wert, persönliche Beobachtungen einem Zentralinstitute mitzuteilen. Dazu ist folgender Fragebogen am besten zu verwenden:

1. Ort, Datum des Erdbebens,
2. genaue Zeit, womöglich auf Sekunden,
3. wo befand sich der Beobachter, im Freien, in einem Gebäude und in welchem Stockwerke?
4. Zahl, Dauer, Richtung der Stöße,
5. Wirkung des Bebens,
6. Erdbebengeräusche,
7. Verhalten von Quellen und Brunnen,
8. sonstige Beobachtungen.

Erdbeben können in allen Breiten unabhängig vom Aufbaue der Erdoberfläche auftreten. Erdbebenfrei oder vor ihnen sicher ist kein Ort. Aber die alten Kontinentalmassen sind so bebenarm, daß sie als aseismisch¹ bezeichnet werden. Von 70 000 lokalisierten Beben fallen 95 % und gerade die kräftigsten in die zwei schmalen Zonen der jungen Hochgebirge rings um den Pazifischen Ozean und westöstlich durch Südeuropa, Nordafrika und Südasiens bis in den hinterindischen Archipel, also in die jungen Geosynklinalen oder Orogene. Und zwar sind fast alle Katastrophenbeben zwischen dem 40° nördlicher und südlicher Breite auf den Erdbebengürtel der Erde beschränkt und liegen besonders an dessen Grenzen, den genannten Parallelkreisen. Maxima der seismischen Erscheinungen sind dort gelegen, wo die Ränder des Erdbebengürtels die jungen Faltengebirge schneiden oder sie berühren, wie San Franzisko, Nippon, Valparaiso und die Cook-Straße in Neu-Seeland und zwischen Lissabon und Turkestan. Gerade die Zone um den 45. Breitengrad ist der Gürtel stärkster tangentialer Pressungen bei der Änderung der Gestalt des Geoids.

Metamorphose

Metamorphose heißt man Veränderungen der Gesteine durch äußere Kräfte mit Ausnahme der Verwitterung, also durch Druck (Dynamometamorphose) und hohe Temperatur (Kontaktmetamorphose, vgl. S. 24).

Dabei spielt das Wasser besonders im überhitzten Zustande als kräftiges Lösungsmittel eine große Rolle. Der Druck ist der vertikale der auflastenden Schichten oder der seitliche der Gebirgsbildung, wobei auch mit der Tiefenstufe

¹ a, gr., in Verb. ohne, seismos, gr., Erschütterung; ohne Erschütterung.

eine Steigerung der Temperatur erfolgt. Es tritt durch einseitigen Druck ein Parallelgefüge — Schieferung — ein, das an Schichtung erinnert, aber durch die gleichgerichtete Stellung der Körner, vor allem der Schüppchen von Mineralien bewirkt wird. Es entstehen dabei neue Minerale und neue Felsarten mit anderem chemischen Bestande, anderer mineralischer Zusammensetzung und Struktur. In geringer Tiefe, wo die Gesteine starr sind, wird Kataklasstruktur, eine mikroskopische Zertrümmerung und brüchige Schieferung parallel zur Krafrichtung bewirkt. In größerer Tiefe erfolgt diese Schieferung bruchlos durch Umkristallisieren infolge Lösungsvorgänge wobei neue dichtere Minerale von geringerem Volumen gebildet werden.

Der Wassergehalt der Gesteine wird unter hohem Drucke zu einem wirksamen Lösungsmittel, das an den unter Druck stehenden Stellen auflöst und an



Fig. 83 Kristallisationsschieferung von Biotitgneis von Ötz, Tirol, 16mal vergr.
(Nach U. Grubenmann).

den druckfreien ausscheidet, wodurch ein Umkristallisieren und eine Verzahnung der Mineralien, ein Zeichen gleichzeitigen Auskristallisierens, bewirkt wird. Solche veränderte Gesteine werden kristallinische Schiefer genannt.

Erstarrungsgesteine und Absatzgesteine können der Druckmetamorphose unterworfen sein. Allen kristallinischen Schiefen fehlt eine Ausscheidungsfolge der Gemengteile, wie sie den Massengesteinen eigen ist. Sie werden vorwiegend aus Quarz, Feldspaten, Glimmer, Hornblenden und Augiten gebildet. Als charakteristische Bestandteile treten in manchen von ihnen Granat, Chlorit, Serizit, Talk, Epidot u. a. auf.

Es ist oft schwer zu entscheiden, ob ein kristallinischer Schiefer aus einem Sediment- oder Erstarrungsgestein hervorgegangen ist. Der Übergang zu beiden ist bisweilen zu erkennen. Aus Tonen werden Schiefertone und Tonschiefer gebildet, dann blätterige Phyllite¹ und endlich Glimmerschiefer, der aus Quarz und Glimmer besteht und

¹ Phyllon, gr., Blatt; Gesteine mit blätteriger Struktur.

oft Granat einschließt. Eine weit vorgeschrittene Umwandlung von Sedimenten stellen die Gneise (Fig. 83), aus Quarz, Feldspat und Glimmer gebildet, dar (Sediment- oder Paragneis¹). Aus Graniten und Syeniten ist durch Druck der sehr ähnliche Orthogneis hervorgegangen, der in der Struktur alle Übergänge von den Massengesteinen zeigt.

Granulite heißen glimmerarme, aber Granat und Cyanit führende Gneise. Quarzite bestehen fast nur aus verzahnten Quarzkörnern und sind aus Quarzsand hervorgegangen. Amphibolite sind dunkle, oft hell gestreifte Gesteine aus Hornblende und Feldspat, zum Teil mit Granat und dürften zum Teil aus Diorit und Gabbro, aber auch aus Sedimenten hervorgegangen sein. Serpentine sind aus Olivingesteinen entstanden und mit ihnen sind massige, grünrote Gesteine aus Pyroxen und Granat, die Eklogite vergesellschaftet.

In kristallinen Schiefen sind Marmoreinlagerungen, die aus Kalken hervorgegangen sind, häufig. Mit ihnen treten bei Anwesenheit von Kieselsäure Epidot- und Granatfelse auf.

Kristallinische Schiefer bilden auf der ganzen Erde das Liegende der fossilführenden Formationen, vor allem die alten Festlandsschollen. Sie können aber aus Sedimenten aller Formationen bis in das Alttertiär hervorgegangen sein und nehmen großen Anteil am Aufbau der Faltengebirge, wie z. B. der Zentralzone der Alpen.

¹ Para, gr., neben, falsch; falscher Gneis.

B. Historische Geologie

Geschichte der Erde, Formationskunde

Die Erfahrungen der dynamischen Geologie finden ihre Nutzanwendung in der Erdgeschichte, indem man aus den Erscheinungen, die in den oberflächlichen Erdschichten aus der Vorzeit erhalten sind, die Kräfte zu erkennen versucht, die sie hervorgerufen haben. Die ontologische¹ Methode schließt aus der Beobachtung der gegenwärtigen Vorgänge auf die Tätigkeit der Kräfte, die einst am Werke gewesen sind.

Von der Zeit an, da die feste Erdrinde gebildet war, mit ihrem planetaren Zustande, betritt die wissenschaftliche Forschung der Geologie festen Boden. Aber erst mit der Bildung der Absatz-, besonders der Schichtgesteine, ist eine Zeitfolge, eine Altersunterscheidung durch die Aufeinanderlagerung, Schichtstörungen und vor allem durch die Fossilien gegeben. Die historische Geologie ist also hauptsächlich die Lehre von den Schichtgesteinen (Stratigraphie) und Entwicklungsgeschichte der Organismenwelt. Schichten mit gleicher oder sehr ähnlicher Fauna und Flora sehen wir als altersgleich an und solche für jünger, deren fossile Reste größere Ähnlichkeit mit der heutigen Organismenwelt besitzen. Dabei dürfen wir aber nur im gleichen Ablagerungsbezirke entstandene Bildungen dem Alter nach untereinander vergleichen, so die der Flachsee, des Litorals, des Süßwassers usw.

Heute ist für die Schichtreihe fast allgemein folgende Einteilung im Gebrauch, deren einzelne Abschnitte aber durchaus keine Gleichwertigkeit in der Zeitdauer besitzen. Die älteren haben eine unverhältnismäßig größere Länge. Wie alle geologischen Schichtfolgen, ist die Tabelle von unten nach oben zu lesen.

B. Euzoische² Schichtfolge

IV. Kaenozoische³ (Neozoische)⁴ Formation, Neuzeit der Erde

2. Quartärformation

1. Tertiärformation

¹ On, gr., seiend; auf dem heute Bestehenden fußend.

² Eu, gr., gut, wohl, zoon, gr., Lebewesen; mit Lebewesen belebt.

³ Kainos, gr., neu; mit jungen Lebewesen; die Neuzeit der Erde.

⁴ Neos, gr., neu; mit jungen Formen von Lebewesen.

- III. Mesozoische¹ Formationsgruppe, Mittelalter der Erde
 - 3. Kreideformation
 - 2. Juraformation
 - 1. Triasformation
- II. Paläozoische² Formationsgruppe, Altertum der Erde
 - 5. Permformation
 - 4. Karbonformation
 - 3. Devonformation
 - 2. Silurformation
 - 1. Kambrische Formation
- I. Algonkium, Archäozoische³ Schichtgruppe

A. Azoische⁴ oder archaische⁵ Gesteinsfolge

- II. Paläozeanische⁶ Schichtreihe
 - I. Anhydrische⁷ Gesteinsgruppe

Jede geologische Zeitbestimmung ist relativ. Wir haben keinen absoluten Maßstab für geologische Zeiträume. Es ist wiederholt der Versuch gemacht worden, einen solchen zu gewinnen. Aus der Änderung der Erdbahn, aus der Temperaturabnahme der Erde, aus dem Heliumgehalte von Mineralien, dem Zerfalle des Radium, aus dem Salzgehalte der Ozeane, aus der Mächtigkeit der Sedimente und aus der Entwicklung der organischen Welt hat man überaus unsichere, in weiten Grenzen schwankende Werte gewonnen, so für das Alter der ältesten Ablagerungen zwischen 26 Millionen und 600 Millionen Jahre, für das Alter der Erde 200 Millionen bis 11 000 Millionen.

A. Archaikum

Sobald die Abkühlung der Erde unter den Schmelzpunkt der gesteinsbildenden Minerale gesunken war, konnte die Erstarrungskruste aufgebaut werden, von der wohl kein Teil unserer Beobachtung zugänglich, ja wahrscheinlich kein Stück mehr unverändert erhalten ist. Sie mag ursprünglich granitähulich ausgebildet gewesen und schließlich zu kristallinen Schiefen, wohl Orthogneis, umgewandelt worden sein, die sicher 30 km mächtig, überall im Liegenden der ältesten Absatzgesteine auftreten. Es sind Granitgneis, Amphibolit, Granulit mit Stöcken und Gängen von Granit, Diorit, Syenit, Gabbro, Serpentin usw. Darüber folgt eine Zone von Orthogneisen mit Marmor und Dolomit, Quarzitschiefern und Erzen, dann die Glimmerschiefer mit Hornblende-, Serizit-, Chlorit-, Talk-, Graphit-, Quarzitschiefern, Konglomeratschiefern usw. Sie zeigen deutlich

¹ Mesos, gr., mittlerer; mit Formen mittleren Alters des Lebens, das Mittelalter der Erde.

² Palaios, gr., alt; mit altertümlichen Formen und Lebewesen, das Altertum der Erde.

³ Archaios, gr., alt; mit altertümlichen Lebewesen.

⁴ A, gr., ohne; ohne organische Reste, vor Beginn des Lebens auf der Erde gebildet.

⁵ Archaios, gr., alt, Urzeit der Erde.

⁶ Palaios, gr., alt, Okeanos gr., Gott des Meeres; die Zeit der Urozeane.

⁷ Hydor, gr., Wasser; ohne Wasser.

die Herkunft von Sedimenten, zum Teil Tuffen. Aber auch jüngere Sedimente aus allen Formationen bis in das Alttertiär können in kristallinische Schiefer umgewandelt sein.

Alle diese Gesteine, die nie eine Spur organischen Lebens aufweisen, werden als Urgebirge, Urgestein oder Archaikum bezeichnet. Ihre obere Grenze wird durch das Auftreten der ersten organischen Reste bestimmt. Sie sind überaus stark gefaltet, überschoben, von Brüchen durchsetzt, von Eruptivgesteinen durchbrochen und nehmen den Hauptanteil am Aufbau der alten Epeirogene, die, wie sich aus kontinentalen Sedimenten erkennen läßt, zum Teil Festland gewesen sind (vgl. Titelbild).

B. Euzoische Schichtfolge

I. Algonkium

Eine scharfe, über die ganze Erde verbreitete Diskordanz bildet die obere Grenze des Archaikum und das Algonkium wird durch andere Diskordanzen gegen das Paläozoikum abgetrennt und in mehrere Abteilungen gegliedert. Dies

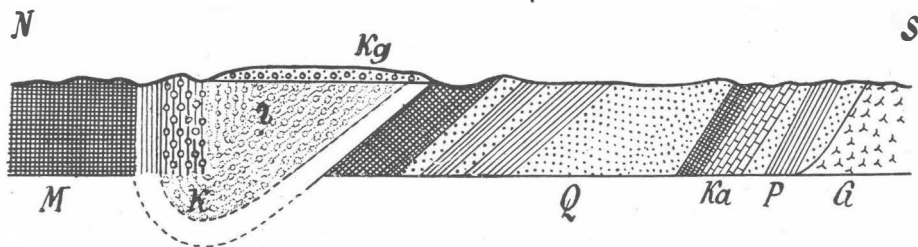


Fig. 84. Profil durch die algonkischen Schichten bei Kittilä im finnischen Lappland. Zeigt die starke Störung der Schichtglieder und eine scharfe Diskordanz (nach V. Hackman).

zeigt die ungeheure Länge seiner Zeitdauer. Die Sedimente sind wohl noch weitgehend metamorphosiert, aber doch in ihrer Herkunft kenntlich, Kalke und Kohlen verraten ein reiches Organismenleben. Man kennt glaziale Spuren dieser Zeit auf den alten Festlandsmassen, die vegetationslose Wüsten zum Teil mit Trockenklima waren. Deckenergüsse breiten sich bis 10000 m stark über weite Landstriche aus und die Gesamtmächtigkeit der Gesteine wird auf 20 km geschätzt. Sie sind fast ausnahmslos über die ganze Erde stark gestört (Fig. 84).

Wir kennen eine hochentwickelte Fauna, deren Herkunft ungeklärt ist und die eine überaus lange Entwicklungsreihe voraussetzt. Von Pflanzen sind nur Wasserbewohner (Algen) bekannt. Die Tierwelt umfaßt alle Klassen der Wirbellosen, aber die Bestimmungen sind infolge schlechter Erhaltung selten möglich. Man kennt Protozoen (Radiolarien), Spongien, Krinoiden, Brachiopoden, Bivalven, Gastropoden, Pteropoden, Würmer und Krebstiere, besonders Trilobiten. Luftatmende Tiere fehlen völlig. Vielleicht war die an Gasen noch reiche Luft noch nicht atembar. Über die Entstehung des Lebens sind wir völlig im unklaren, vielleicht ist es an die Bildung kolloidaler Substanzen geknüpft.

Die in den deutschen Mittelgebirgen auftretenden kristallinischen Gesteinsarten gehören wohl großenteils diesem Zeitalter an. In Finnland, Schweden, Schottland finden sich abwechslungsreiche algonkische Gesteinsfolgen, an den kanadischen Seen erreichen sie große Mächtigkeit und führen die ausgedehnten

Kupfer- und Eisenerzlager. In den Vereinigten Staaten sind fossilführende Schichten an vielen Orten bekannt und in Südafrika gehören die reichen Goldminen dieser Formation an, die auch in Nordchina, Australien u. a. O. vertreten ist.

II. Paläozoische Formationsgruppe

In dieser Aera erweitern sich die Kontinente durch die Anschweißung gefalteter Teile der Geosynklinalen. Der hervorstechendste Zug der Erdoberfläche war der Nordatlantische Kontinent, der Kanada mit Nordeuropa verband. Im Silur, zwischen diesem und dem Devon und im Karbon und Perm sind bedeutende Phasen der Gebirgsbildung. Im Silur überfluten große Transgressionen weite Teile der Kontinente. Dann trat auf der Nordhalbkugel Festlandsbildung mit ausgedehnten Wüstengebieten ein, die sich im Karbon mit einer reichen Vegetation bedecken. Das Klima war über die ganze Erde tropisch, Riffkorallen finden sich bis zum 80.^o n. B. Klimazonen und Jahreszeiten lassen sich erst am Schlusse der Aera erkennen.

Die wohl 50 km mächtige, meist aus Sedimenten bestehende Schichtreihe, ist nur in den später gefalteten Zonen metamorphosiert und liegt auf den Kontinentalblöcken größtenteils wenig verändert.

Die Pflanzen- und Tierwelt ist noch sehr fremdartig (Fig. 85), weit- aus herrschen Kryptogamen vor, in späterer Zeit auch Gymnospermen. Die Wasserpflanzen der ältesten Zeit beginnen im Devon auf das Festland zu wandern und Lepidophyten (Lepidodendren, Bärlappgewächse) (Fig. 112, 113), Kalamiten (Schachtelhalmgewächse) (Fig. 116, 117) und Sigillarien (Siegelbäume) (Fig. 114, 115) von gigantischer Größe bilden neben cycadeenähnlichen Gewächsen und Koniferen die Flora.

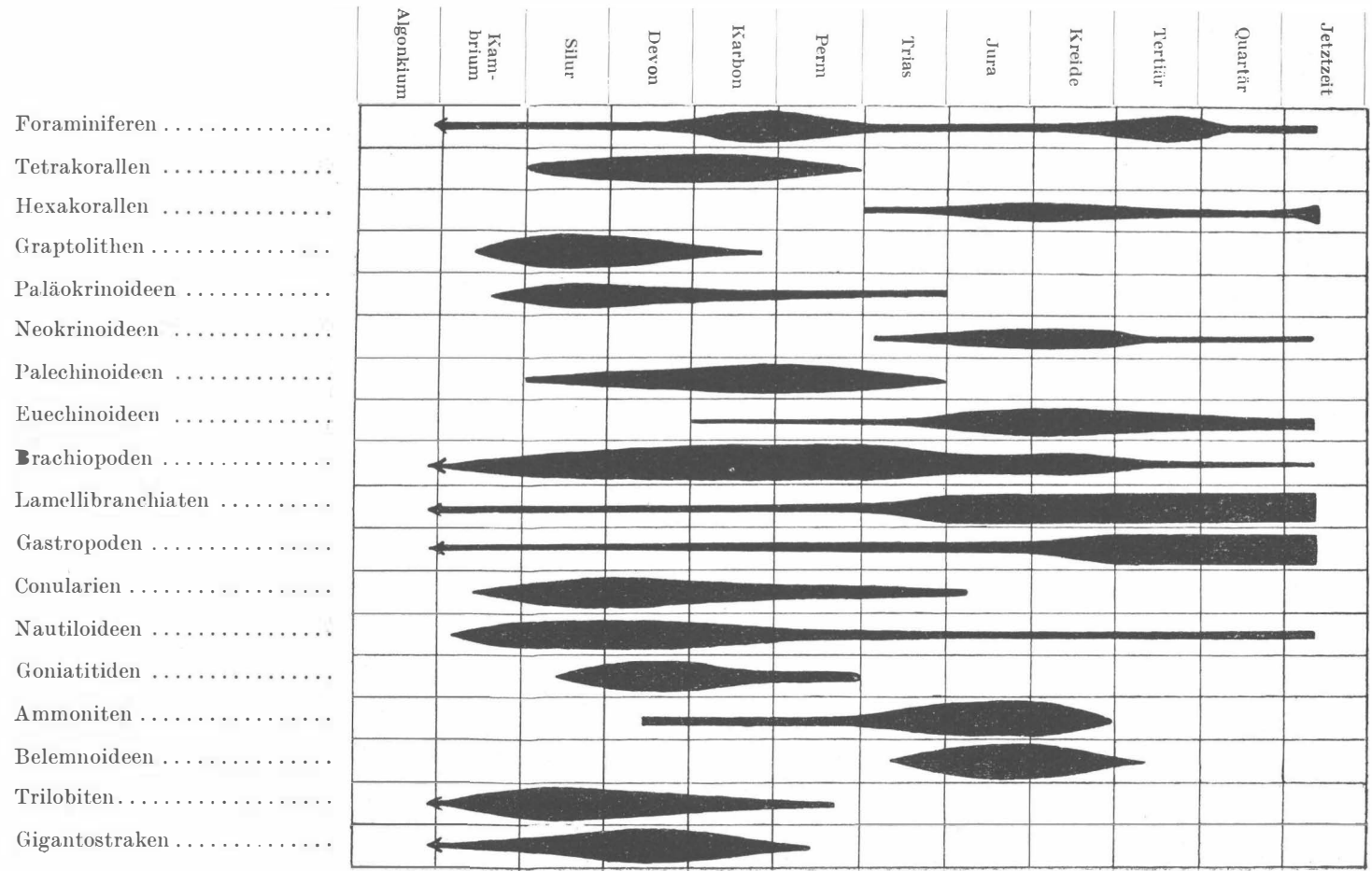
Die Fauna enthält alle Tierklassen mit Ausnahme der warmblütigen Wirbeltiere. Die ersten Reptilien (Fig. 127) erscheinen im Perm, die Amphibien (Fig. 126) im Karbon. Seit dem Devon sind doppelatmende Fische (Dipnoër), die durch Lungen und Kiemen atmen, Ganoiden (Schmelzschupper) und Haifische vertreten. Im Silur und Devon bilden die eine selbständige Klasse darstellenden Panzerfische (Plakodermen) (Fig. 111) ohne inneres Skelett eine entwicklungsgeschichtlich bemerkenswerte Gruppe. Die ersten Insekten, zum Teil riesige Formen mit bis 1 m Flügelspannweite, erscheinen im Karbon und Riesenkrebsse, bis zwei Meter lang, beleben die Brack- und Süßwasserbecken (Fig. 94). Der heute lebende Molukkenkrebs ist ein naher Verwandter.

Bis in das Karbon sind die Trilobiten wichtige Leitfossilien. Sie waren Meeresbewohner und scheinen größtenteils im Schlamm gewühlt zu haben und sind dann augenlos. Ihr Körper war von einem chitinösen Panzer bedeckt und durch zwei Längsfurchen in drei Teile geteilt, deren mittlerer unten von einer Membran abgeschlossen war. Unter den Seitenteilen lagen die Spaltfüßchen und die Kiemen. Der ganze Körper war in schmale Segmente geteilt, deren vier erste zum

Kopfschilde und deren letzte in wechselnder Zahl zum Schwanzschilde verwachsen sind. Der Rumpf hat 2 bis 29 Segmente, deren jedes gegliederte Spaltfüßchen und Kiemen trägt. Am Kopfschilde sitzen meist seitliche, oft sehr kompliziert gebaute Augen und bisweilen in der Mitte auch ein unpaares. Manchen Formen fehlen sie. Vielfach treten horn- und stachelartige Fortsätze und Verzierungen besonders auf dem Kopf- und Schwanzschilde auf. Der Kopf trägt Fühler und auf der Unterseite den Kauapparat mit Kaufüßchen.

Die Trilobiten sind meist nur wenige Zentimeter bis etwa 10 cm groß, manche erreichen aber 70 cm Körperlänge. Die reicher segmentierten konnten sich einrollen. Man kennt von ihnen Eier und Larven und vermutet, daß die Anhäufungen ihrer Panzer Häutungplätze darstellen. Sie treten in vorkambrischer Zeit auf, erreichen die Höhe ihrer Entwicklung im Silur und sterben im Perm aus.

Unter den Kopffüßern (Cephalopoden) sind die mannigfach gestalteten Nautiloideen fast ganz auf diese Ära beschränkt. Nur die Gattung *Nautilus* setzt sich bis auf den heutigen Tag fort. Sie sind von großer Bedeutung als Leitformen und werden an der Wende gegen das Mesozoikum von den Ammonoideen abgelöst. Sie besaßen eine gerade, gebogene oder spiral eingerollte Schale, die von dem den Rumpf einhüllenden Mantel abgeschieden wurde. Sie ist durch Querscheidewände in Kammern geteilt, die mit Luft gefüllt, als Schwimmapparat dienen. In der vordersten, der Wohnkammer, liegt mit der Bauchseite nach außen gekehrt, das Tier. Von systematischer Wichtigkeit sind die Kammer-scheidewände (Septa), deren Zahl bei einer Art ziemlich unveränderlich ist. Die Anheftungslinie der Scheidewände an der Innenseite der Schale ist sehr veränderlich. Sie heißt Suturlinie oder Lobenlinie und ist nach Entfernung der Schale oder an Steinkernen sichtbar. Bei den Nautiloideen ist sie meist fast geradlinig, oder wellig gekrümmt. Bisweilen springt sie auf den Seiten im Bogen vor (Seitensattel, der von zwei zurück-springenden Einbuchtungen, Seitenloben, begrenzt wird). Bisweilen entstehen noch kleinere Sättel und Loben auf der Innen- und Außen-seite. Die Lobenlinie ist von großer Wichtigkeit für die Bestimmung der Formen. Ein häutiger Strang (Sipho) setzt sich vom Hinterende durch die Scheidewände fort und enthält Blutgefäße. Er ist mehr minder von kalkigen Düten umgeben. Seine Lage in der Schale — bei den Nautiloideen meist zentral — ist von Bedeutung für die Systematik der Ordnung. Der Kopf des Tieres ist von etwa 90 Tentakeln umgeben und trägt einen verdickten Lappen, der die Wohnkammer verschließen kann. Erhaltungsfähig sind die kräftigen, einem Papageienschnabel ähnlichen Kiefer. Zwei Paar Kiemen liegen in der Atemhöhle (daher Vierkiemer). Über die Lebensweise und Fortpflanzung ist wenig bekannt. Die Gestalt der Schale ist sehr verschieden. Die ältesten Vertreter waren stabförmig, dann traten bauchige und leicht gekrümmte, endlich in offener oder geschlossener Spirale eingerollte Formen auf, die



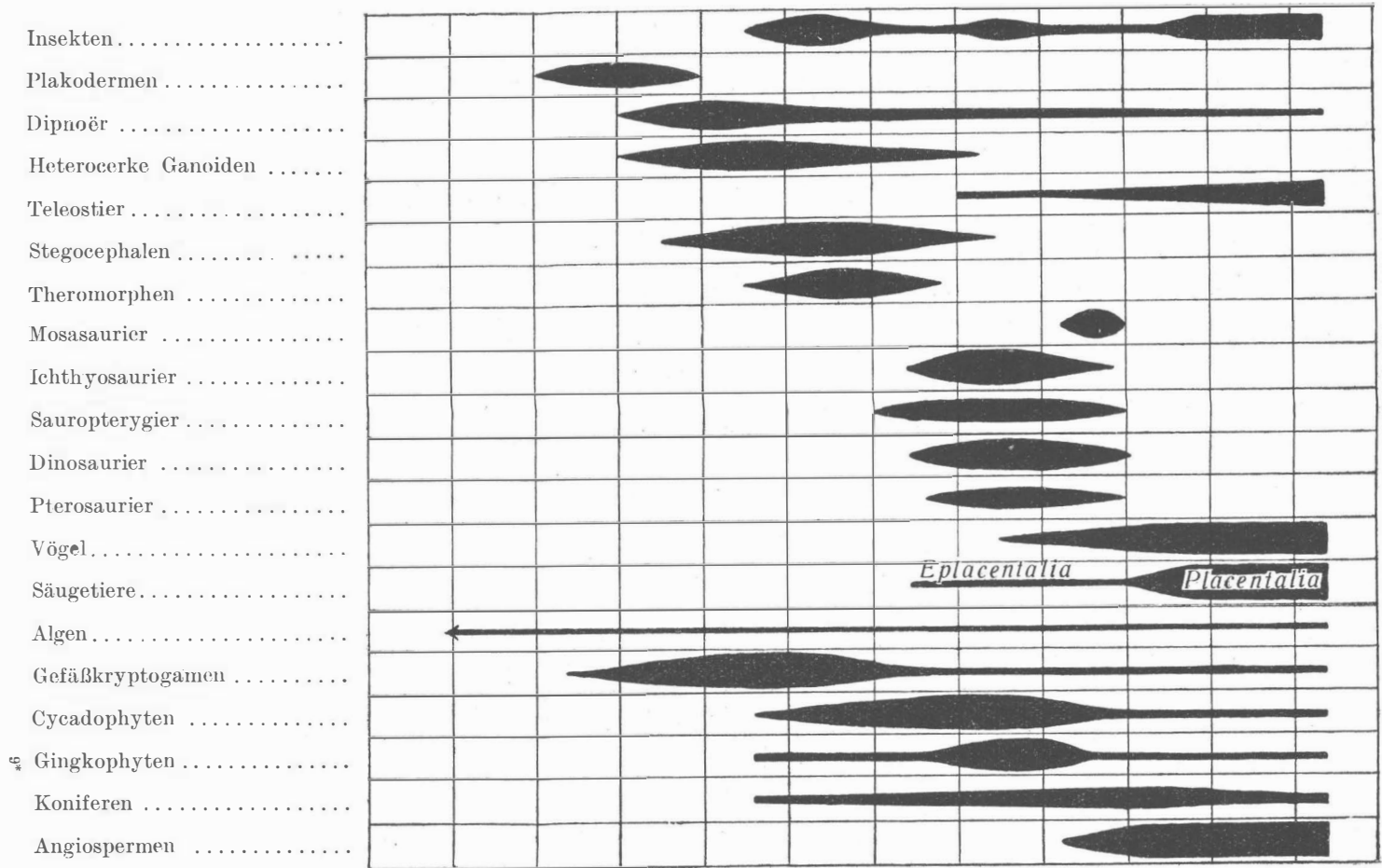


Fig. 85 Darstellung des Auftretens der wichtigsten Tier- und Pflanzengruppen in der Erdgeschichte

zum Teil eine reiche Oberflächenskulptur aufweisen. Die Größe der Schale ist meist 5 bis 15 cm, die geradlinigen Orthoceren erreichen aber auch 2 m Länge.

Im Devon erscheinen die ersten Vertreter der Ammonoideen, die mit Beginn des Mesozoikum herrschend werden und am Schlusse dieser Ära ganz aussterben. Ihre Schale ist meist in geschlossener, selten in offener Spirale eingerollt, selten schneckenförmig, gebogen, geradgestreckt oder unregelmäßig gekrümmt. Die Oberfläche ist oft reich verziert. Die Suturlinie ist wellig, meist gezackt und zeigt oft sehr zerschlitzte und verästelte Loben und Sättel. Der Siphon liegt meist an der Innen- oder Außenseite. Im Paläozoikum treten nur einfache Suturformen auf. Herrschend sind die Clymenien mit innen und die Goniatiten mit außen gelegenen Siphon.

Die Muscheln und Schnecken spielen noch eine recht geringe Rolle. Es sind altertümliche Formen, meist dünnschaliger Muscheln und oft nicht gewundener, symmetrischer Schnecken.

Die Brachiopoden, Armfüßer, die heute nur mehr schwach vertreten sind, erreichten die Höhe ihrer Entwicklung. Manche der niedrigst organisierten Familien, besonders die Schloßlosen wie *Lingula*, u. a. setzen sich aus der kambrischen Zeit bis auf die Gegenwart fort. Aber manche wichtige, meist durch Größe, reiche Skulptur und weite Verbreitung ausgezeichnete Gruppen, die wichtige Leitformen sind, verschwinden mit dem Ende der Ära.

Die Stachelhäuter (Echinodermen) zeigen im Paläozoikum noch ganz altertümliche Gruppen. Die Seeigel und die Seesterne sind verschieden von denen der späteren Zeit und die Klassen der Blastoideen und Cystoideen sind ganz auf die Ära beschränkt.

Eine systematisch noch nicht gesicherte Stellung nehmen die vielleicht zu den Hydroidpolypen gehörigen, vom Kambrium bis in das Devon auftretenden Graptolithen ein, die im Silur zu den wichtigsten, empfindlichen Leitfossilien gehören. Sie sind wohl größtenteils zu Kolonien vereint und mit einer Schwimmblase versehen oder auf Tangen befestigt gewesen und haben als planktonische Tiere eine weite Verbreitung in kurzer Zeit erfahren. Ihre Organisation und Lebensweise ist wenig erforscht.

Die Korallen, vor allem die Riffbildner sind schon im Silur von großer Bedeutung. Sie gehören durchwegs den Tetrakorallen, mit vier Systemen von Sternleisten (Septen) und den Tabulaten, kalkige Röhren mit zahlreichen Querböden bildenden Formen an. Die Tetrakorallen werden am Schlusse der Ära von den Hexakorallen mit sechsstrahligem Baue abgelöst und die Tabulaten verlieren ihre Bedeutung.

Unter den Foraminiferen sind die vielkammerigen, großen und gesteinsbildenden, weltweit auftretenden Fusuliniden wichtige Leitformen im Karbon und Perm.

1. Die kambrische Formation

Deutlich treten die alten Kontinente hervor. Der nordamerikanische reichte vom Felsengebirge bis an die Appalachen und hing über das nordatlantische Festland mit Spitzbergen und Nordeuropa zusammen. Festland war Brasilien, der größte Teil Afrikas mit Madagaskar, Arabien und Vorderindien, Australien und Sibirien. Mit Ausnahme des nördlichen Atlantischen Ozeans und des nördlichen Indischen scheinen die Meeresbecken schon die heutigen Grundzüge besessen zu haben. Wir können nur Ablagerungen seichten Wassers nachweisen, vielleicht sind aber die Sedimente größerer Wassertiefe durch die Metamorphose unkenntlich geworden. Die Festländer haben ein dem heutigen schon sehr ähnliches Relief besessen, sie waren größtenteils weit abgetragene Tiefebene, die die Überflutung durch die Transgressionen ermöglichten. Ein Gebirgsland scheint Europa vom südlichen

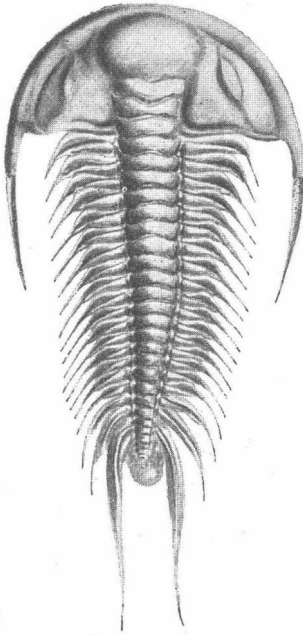


Fig. 86 *Paradoxides bohemicus*
Barr., $\frac{1}{2}$ mal

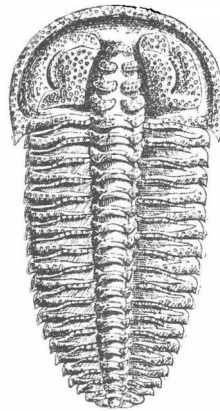


Fig. 87 *Sao hirsuta*
Barr., 2 mal



Fig. 88 *Agnostus integer*
Beyr., 4 mal

England bis nach Polen durchquert und die nördliche und südliche Meeresprovinz getrennt zu haben. Die Periode war eine Zeit tektonischer und vulkanischer Ruhe.

Die Mächtigkeit der Schichtfolge ist auf den Kontinenten oft lückenhaft und nur etwa 50 m stark und erreicht in den Geosynklinalen 10 km. Es sind meist klastische Sedimente, Sandsteine, Quarzite, Ton-schiefer, Kieselschiefer und selten Kalke. Pflanzenreste sind noch wenig bekannt. Die als Fukoiden (Meeresalgen) angesehenen Reste sind wohl Kriechspuren niederer Tiere. Von den 90 Tierordnungen, die lebend und fossil bekannt sind, treten 16 mit etwa 1000 Arten auf. Viele Tiere haben wohl noch keine erhaltungsfähigen Hartteile besessen. Von Bedeutung sind vor allem die Trilobiten (Fig. 86 bis 88) mit großem Formen- und

Individuenreichtum, die die wichtigsten Leitfossilien bilden. Von Armfüßern (Brachiopoden) treten schloßlose, hornschalige Formen wie *Lingula* (Fig. 89) auf, die zu den wenigen Gattungen gehören, die sich bis auf den heutigen Tag erhalten haben. Überaus günstige Funde im westlichen Kanada haben uns den großen Reichtum an Krebstieren, Medusen, Holothurien, Borsten- und Sternwürmern (Fig. 90) u. dgl. gezeigt, der in den damaligen Meeren herrschte. Die weite Verbreitung vieler Formen beweist die Einheitlichkeit des Weltmeeres und Wanderungen. Dies verrät auch, daß ein ziemlich gleichmäßiges Klima über die ganze Erde geherrscht hat. Eisspuren finden sich im nördlichsten Norwegen, in Australien und China. In niederen Breiten verraten die Sedimente ausgedehnte Wüstengebiete.

Eine reiche Entwicklung zeigen die kambrischen Sedimente und Faunen im Bereiche des baltischen Festlandes. In den Gebirgen Mitteldeutschlands sind kristal-

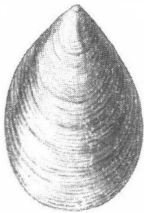


Fig. 89 *Lingulella ferruginea*
Salter, 2 mal



Fig. 90 *Canadia spinosa* Walc., ein
Annelide (nach C. D. Walcott)

line Schiefer vertreten. Von Böhmen und Frankreich südwärts verrät ein faunistischer Unterschied schon ein altes Mittelmeer.

2. Silurische Formation

Diese Periode ist ausgezeichnet durch die ausgedehnten Transgressionen, die weite Teile der Kontinente mehrmals überflutet haben. In den Geosynklinalen wurden große Mengen von Sedimenten abgelagert und an manchen Stellen zu Gebirgen aufgefaltet. Ein gewaltiges kaledonisches Kettengebirge zog von Irland über Nordschottland nach Norwegen und Spitzbergen bis in das nördlichste Grönland. Auch in der Sahara und im Kaplande trat Faltung ein. Die vulkanische Tätigkeit ist sehr gesteigert, Intrusionen und Eruptivgesteine sind häufig.

Unter den Pflanzen sind vor allem die Kalkalgen als Riffbildner von Bedeutung und es scheinen auch die ersten Landpflanzen auf-

zutreten. Es stellt sich nun eine beispiellos rasche Entwicklung der Tierwelt ein und alle Stämme und alle Ordnungen der heutigen niederen Tierwelt und viele ausgestorbene sind mit weit über 10000 Arten bekannt. Es fehlen noch alle Wirbeltiere außer den Fischen, von denen die Haifische auftreten. Von großer Bedeutung sind die Panzerfische und die Trilobiten (Fig. 91 bis 93), die die Höhe ihrer Entwicklung er-

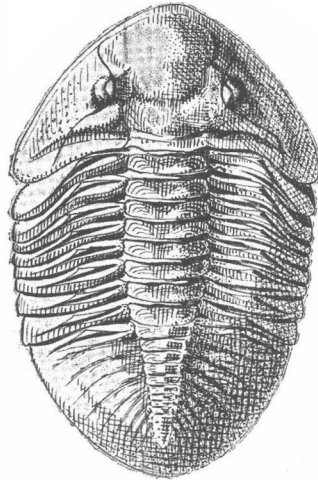


Fig. 91 *Asaphus expansus* Wahl.

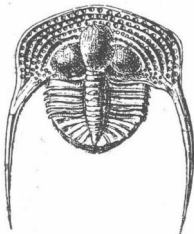


Fig. 92 *Trinucleus Goldfussi* Barr.

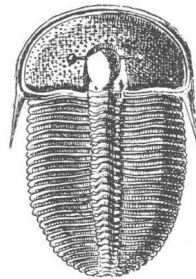


Fig. 93 *Arethusina Konincki* Barr., 2 mal

reichen und Riesenkrebs (Fig. 94). Unter den schalentragenden Kopffüßern sind vor allem die geradlinigen Orthoceren (Fig. 95) zu erwähnen, die bis 2 m lang werden. Auch bauchige und gekrümmte Schalen erscheinen, die sich immer mehr einrollen (Fig. 96, 97) und endlich mit *Nautilus* eine in einer Ebene gerollte Spirale bilden. Daneben treten die ersten Goniaatiten, zu den Ammonoideen gehörig, auf. Die Muscheln und Schnecken (Fig. 98) zeigen noch ganz altertümliche Formen. Unter den Brachiopoden (Fig. 99, 100) sind höher entwickelte, mit Schloß versehene Gattungen in großer Mannigfaltigkeit vorhanden. Wichtige Leitfossilien sind die Graptolithen (Fig. 101, 102), die als planktonische Tiere rasch eine weltweite Verbreitung erlangt haben. Korallenriffe mit reichem Tierleben finden sich bis in hohe Breiten.

Lungenatmende Tiere fehlen noch ganz. Das rasche Aufblühen so vieler, kalkabsetzender Organismen setzt günstige Existenzbedingungen

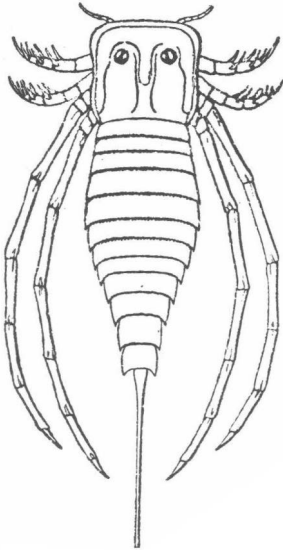


Fig. 94 *Styлонurus Logani*
Woodw., $\frac{1}{2}$ mal



Fig. 95 *Orthoceras*
timidum Barr.

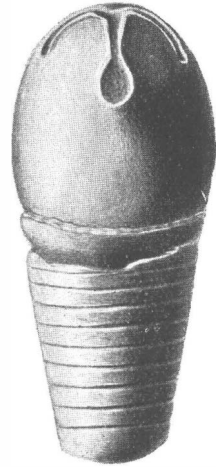


Fig. 96 *Gomphoceras bohe-*
micum Barr., $\frac{1}{2}$ mal

voraus. Zum Schlusse der Periode zeigt sich ein Rückzug des Meeres, die Bildung von Lagunen, in denen Aussüßung vor sich geht. In diese



Fig. 97 *Trochoceras optatum* Barr.,
 $\frac{1}{2}$ mal

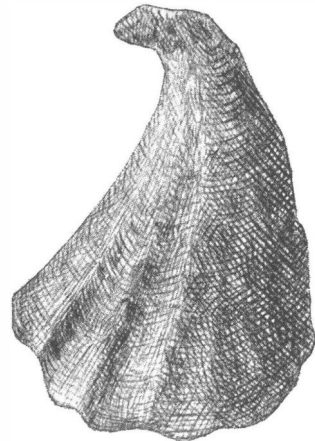


Fig. 98 *Capulus nobilis* Barr.,
 $\frac{2}{3}$ mal

wanderten die Meerespflanzen ein, paßten sich allmählich dem Leben an der Luft an und gaben Anlaß zur Kohlenbildung. Auch die Tiere scheinen hier den Übergang von der Kiemen- zur Tracheen- und Lungen-

atmung durchgemacht zu haben. Es muß ein warmes, gleichförmiges Klima geherrscht haben, da Korallen vom 80.^o n. B. bis Australien auftreten und Eisspuren fehlen.

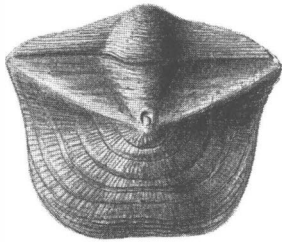


Fig. 99 *Orthisina anomala* Schloth.,
 $\frac{3}{4}$ mal

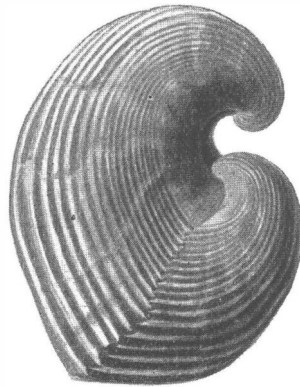


Fig. 100 *Pentamerus Knighti* Sow.,
 $\frac{2}{3}$ mal

In Europa kann man wieder ein nördliches Faunengebiet unterscheiden, das sich fast über ganz Asien ausbreitet und ein südliches, das

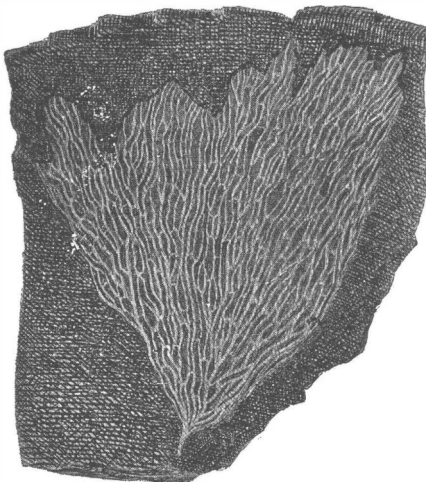


Fig. 101 *Dictyograptus flabelliformis*
Eichw.

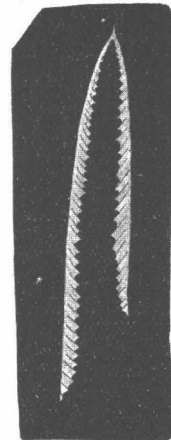


Fig. 102 *Didymograptus Murchisoni* Beck., 2 mal

bis nach Böhmen und bis nach Südasien reicht. Die ostalpine Grauwackenzone besteht wohl zum Teile aus silurischen Gesteinen, doch sind Fossilien wegen der ungünstigen Erhaltungsbedingungen sehr selten.

3. Devonische Formation

Der hervorstechendste Zug ist der erste Nachweis von ausgedehnten festländischen Lebensbezirken. Mit dem Rückzuge des Meeres zum

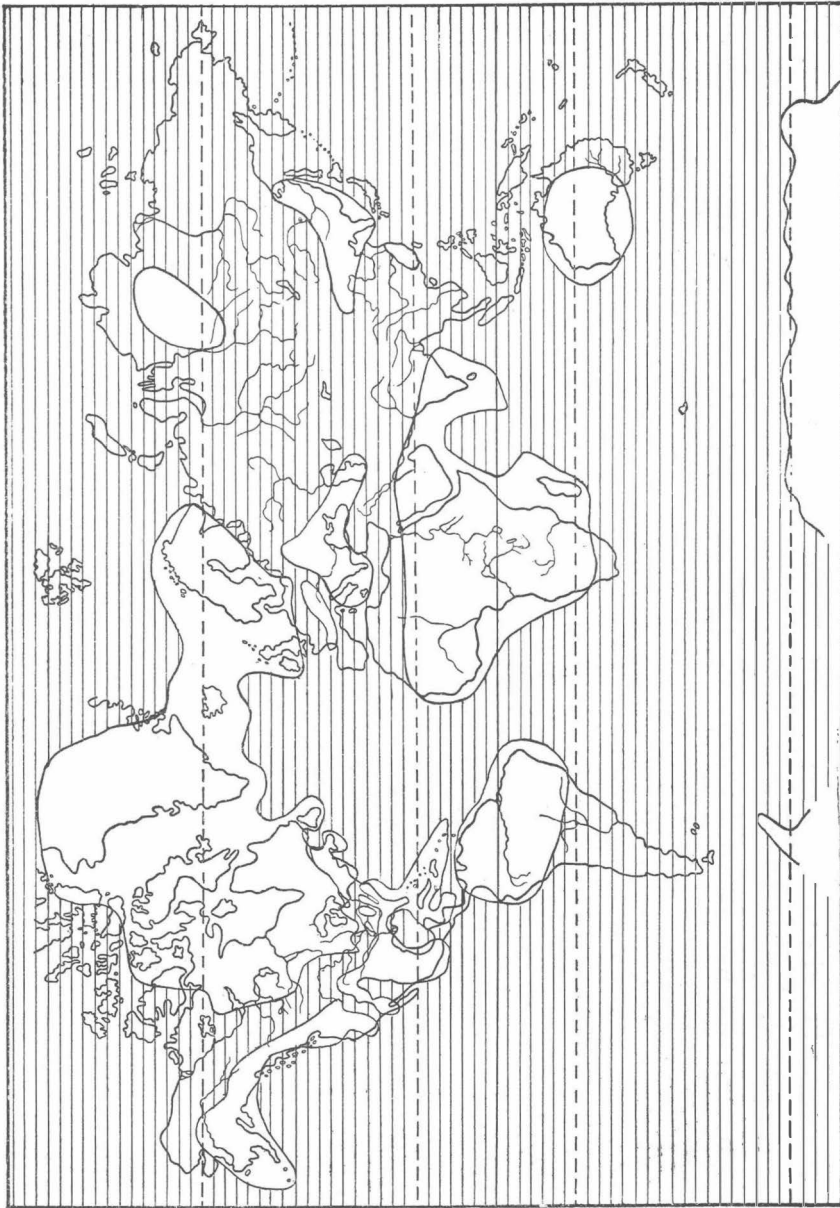


Fig. 103 Erdkarte des Oberdevon. Festländer weiß, Meere schraffiert

Schlusse des Silur beginnt die Eroberung des Festlandes durch die Flora und Fauna. Es muß die Atmosphäre also eine ähnliche Zusammensetzung besessen haben wie heute. Der große Nordkontinent (Fig. 103),

vom östlichen Nordamerika bis nach Nordeuropa reichend, war größtenteils ein Trockengebiet, in dem rote Sandsteinbildungen weit verbreitet sind. Das kaledonische Gebirge im Westen Europas war aufgefaltet und in Mitteleuropa hat eine Faltung stattgefunden, die von Südengland über Böhmen bis Rußland reicht und auch in den anderen Erdteilen

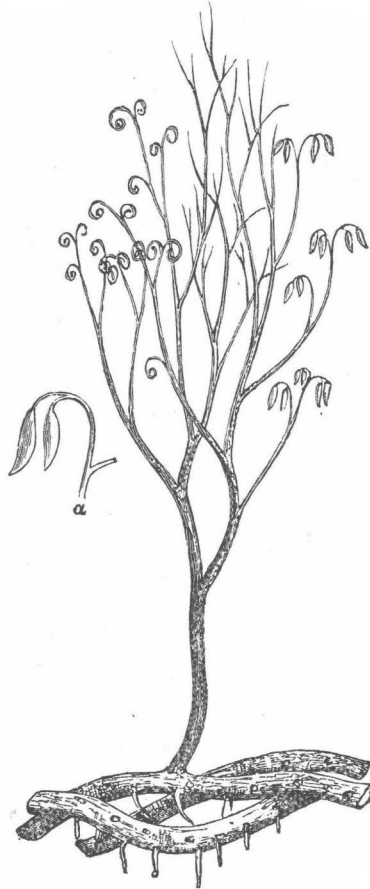


Fig. 104 *Psilophyton princeps* Daw. Links in Knospung, rechts mit Früchten, a Frucht in nat. Größe (nach J. W. Dawson)

läßt sich Gebirgsbildung erkennen. Vulkanische Ausbrüche, besonders Ablagerung von Tuffen und Intrusionen nehmen sehr überhand.

Das Devon ist eine Übergangsperiode für die Lebewelt von den marinen Lebensbedingungen des Silur zu den terrestren des Karbon, eine Zeit des größten Fortschrittes der Organismen seit der Belebung der organischen Verbindungen in der Vorzeit. Die Flora zeigt eine rasche Entwicklung. Sie ist zuerst noch durch die Gattung *Psilophyton* (Fig. 104) charakterisiert, aber im Oberdevon erscheinen Schachtelhalmgewächse (Equisetaceen), Bärlappgewächse (Lepi-

dodendren), Sigillarien und Farne, die von den arktischen Gebieten bis auf die Südhalbkugel einförmig verbreitet sind.

Die Fauna zeigt eine große Verarmung gegenüber dem Silur. Die



Fig. 105 *Heliophyllum Halli* M. Edw.
et H., $\frac{2}{3}$ mal

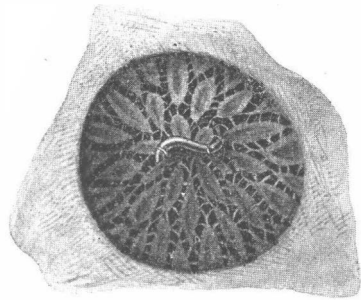


Fig. 106 *Pleurodictyum problematicum*
Goldf., mit Röhrenwurm in der Mitte

Graptolithen, Trilobiten und Nautiloideen verlieren größtenteils ihre Bedeutung. Korallen (Fig. 105, 106), Krinoiden, Bryozoen (Moos-

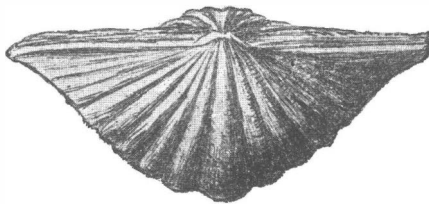


Fig. 107 *Spirifer paradoxus* Schloth.

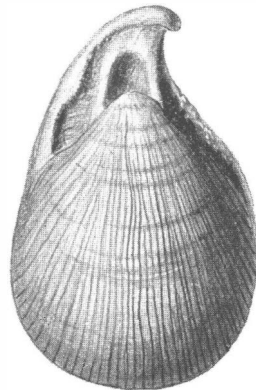


Fig. 108 *Uncites gryphus* DeFr.

tierchen) sind wichtige Kalkbildner und die Brachiopoden (Fig. 107, 108) zeichnen sich durch besondere Mannigfaltigkeit und Größe aus. Es beginnt nun die rasche Entwicklung der Ammonoideen, deren Suturen noch einfache Sättel und Loben zeigen, die bei der fortschreitenden Entwicklung immer komplizierter gezähnt, zerschlitzt und ver-

ästelt werden. Herrschend sind die Goniatiten und Clymenien (Fig. 109) mit glatter oder wenig verzierter Schale und einfachen Loben und Sätteln. Siphon auf der Außen-, bzw. Innenseite. Die Trilobiten

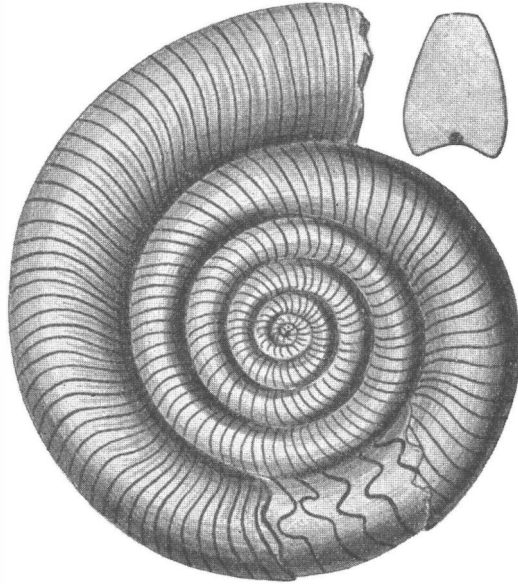


Fig. 109 *Clymenia undulata* v. Münst.

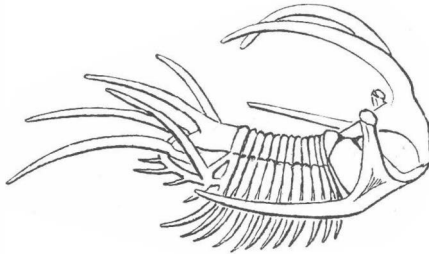


Fig. 110 *Lichas armatus* Goldf. (nach R. Richter)

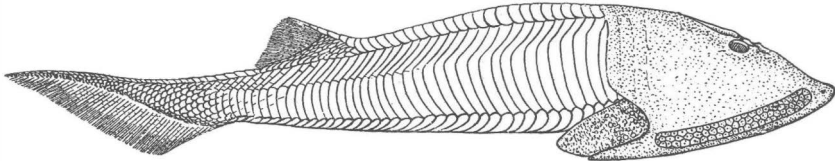


Fig. 111 *Cephalaspis Lyelli* Ag., $\frac{1}{2}$ mal (nach E. v. Stromer)

(Fig. 110) und Riesenkrebse sind noch zahlreich vorhanden und die Panzerfische (Fig. 111) steigen von der Höhe ihrer Entwicklung rasch herab. Die Fischfauna hat sich gegenüber dem Silur rasch entwickelt. Dipnoer und Ganoiden sowie Haifische sind herrschend. Von landbewohnenden Wirbeltieren kennt man nur eine vierfüßige Fährte.

In Europa kann man eine Seichtwasserzone erkennen, die sich von Südengland über den Harz bis nach Polen erstreckt und eine südlichere mit freierem Meere und vorwiegend kalkigen Gesteinen. Auf den Nordkontinenten sind Tausende von Metern mächtig Sandsteine (Old Red Sandstone, der alte rote Sandstein) von meist dunkler Färbung abgelagert worden, die sich ähnlich auch in anderen Kontinenten finden. Sie sind wohl in Süß- und Brackwasserbecken gebildet worden und enthalten hauptsächlich Lungenfische, Panzerfische, Riesenkrebse und Land- und Süßwasserkonchylien und Landpflanzen. Mächtige Blocklehme einer Vereisung sind im Kaplande nachgewiesen worden. Reiche Erdöllager sind in Nordamerika und Nordrußland vorhanden. Die Gesteine sind wenig metamorph verändert.

In den Ardennen, am Niederrhein, im Harz, in Thüringen und im Fichtelgebirge sind fossilreiche klastische Gesteine entwickelt. In Mittelböhmen, in den Ostalpen und im Mittelmeergebiete tritt eine vorwiegend kalkige, fossilreiche Entwicklung auf. Es ist bemerkenswert, wie viele leitende Versteinerungen Europas sich über die ganze Erde verbreitet finden und das Wiedererkennen der Horizonte erleichtern.

4. Karbonformation

Der Name der Steinkohlenformation rührt von dem Vorkommen großer Mengen von Kohle in der so mächtigen und mannigfachen Schichtfolge mariner und kontinentaler Bildungen her. Das Festland gewinnt weiter an Umfang und besonders die Südkontinente spielen von nun an eine Rolle in der Entwicklung der Fauna und Flora. Die südlich von Ureuropa gelegene Geosynklinale ist vom mittleren Karbon ab durch die Permzeit hindurch der Schauplatz einer bedeutenden Faltung, die sich von England bis nach Asien und vom Harz bis in die Sahara nachweisen läßt und in deren östlicher Fortsetzung fast ganz Asien von der Bewegung ergriffen worden ist. Dieses Gebirge heißt im Westen das armorikanische¹, von Zentralfrankreich ostwärts das varisische². Es ist später abgetragen worden, an Brüchen teilweise niedergebroschen und nur in Horsten erhalten geblieben. In Verbindung mit diesen Faltungserscheinungen steht das Auftreten großer Massen von Tiefen- und Eruptivgesteinen.

Die Pflanzenwelt besitzt in dieser Formation eine Bedeutung wie in keiner anderen. Sie zeigt eine rasche Entwicklung und liefert daher einen empfindlichen Maßstab für die Gliederung. Die Erhaltungsbedingungen für die Pflanzenreste waren überaus günstig. Algen spielen als Kalkbildner und auch bei der Bildung der Kohle neben Mikroben eine große Rolle. Ein Teil der Flora mag noch unter Wasserbedeckung gewuchert haben und sie enthält so fremdartige Formen, daß es schwer ist, ihnen eine Stellung im System zu geben. Sie umfaßt etwa 350 Krypto-

¹ Armorika, altgeogr., Bretagne.

² Variscer, germanischer Volksstamm.

gamen und 135 Gymnospermen. Zu den ersten gehören farnähnliche Cycadofilices, Bärlapp- (Fig. 112 bis 115) und Schachtelhalmgewächse (Fig. 116, 117), zu den letzteren cycadeenähnliche Formen und Koniferen (Nadelhölzer).

Zu den Lycopodiaceen (Bärlappgewächsen) gehören die Lepidophyten, Kräuter und bis 40 m hohe Bäume, darunter *Lepidodendron* mit bis



Fig. 112 *Lepidodendron* mit endständigen Blüten und den als *Stigmaria* beschriebenen Wurzeln (nach J. Walther)

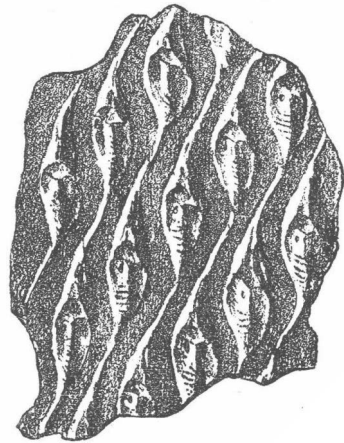


Fig. 113 *Lepidodendron*, Rindenoberfläche (nach Potonié-Gothan)

2 m starkem Stamme, der sich gabelig verzweigt und von rhombischen, spiralig angeordneten Narben der meterlangen, lanzettlichen Blätter bedeckt ist. *Sigillaria* besitzt einen geraden Stamm mit sechseckigen, in Längsreihen stehenden Blattnarben und verzweigtem Wipfel. Die schachtelhalmähnlichen Calamiten erreichen auch 30 m Höhe, sind reich verästelt und ihr Stamm ist mit Längsfurchen bedeckt und zeigt eine Quergliederung durch Wirtel, an denen die schwachen Zweige (als *Annularia* beschrieben) saßen. Alle diese Pflanzen sind über die ganze nördliche Halbkugel bis nach Spitzbergen und über die Südhalbkugel bis Tasmanien, Südafrika und Südbrasilien verbreitet und es scheinen daher keine Klimazonen bestanden zu haben. Der Mangel von Wachstumsringen (Jahres-

ringen) der Stämme verrät, daß kein Wechsel der Jahreszeiten bestanden hat. Ihr Vorkommen im hohen Norden ist eines der großen Rätsel, da die Polarnacht doch schon immer bestanden haben muß und sie wohl kaum einjährig gewesen sind. Es ist aber nicht anzunehmen, daß die Atmosphäre infolge eines weit größeren Kohlensäuregehaltes mehr Sonnenwärme absorbiert und die Ausstrahlung der Wärme verhindert hätte.

Eine Anzahl altertümlicher Tierformen, wie die Trilobiten, die Panzerfische, die Riesenkrebse, die Clymenien sind schon ganz oder fast verschwunden. Von großer Bedeutung als Gesteinsbildner sind große

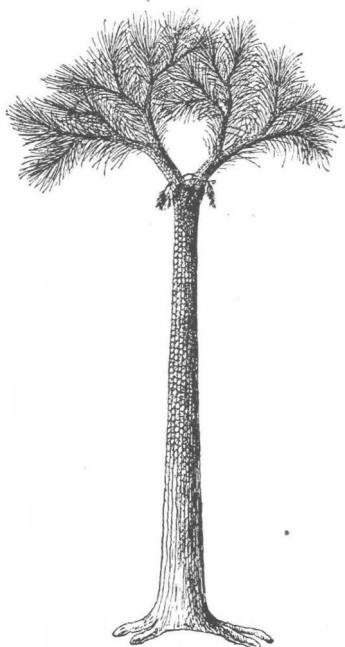


Fig. 114 *Sigillaria* mit Zapfen
(nach Potonié-Gothan)

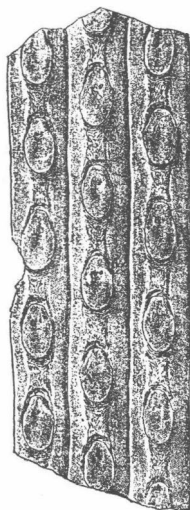


Fig. 115 *Sigillaria*, Rindenoberfläche
(nach Potonié-Gothan)

Foraminiferen (Fig. 118, 119) (*Fusulina*, Fusulinenkalke), Korallen und Bryozoen. Die Brachiopoden (Fig. 120) sind noch mannigfaltig in zum Teil großen *Productus*-Formen vertreten. Muscheln (Fig. 121) und Schnecken (Fig. 122) sind wichtige Leitformen. Die Ammonoideen (Fig. 123) zeigen einen Aufschwung. Altertümliche Insekten erreichen bis 70 cm Körperlänge, Spinnen und Tausendfüßer erscheinen. Die Fischfauna zeigt keinen besonderen Fortschritt. Die ersten Spuren von Amphibien sind nachgewiesen. Nach den zahlreichen Fährten zu urteilen, müssen Landtiere aber schon in großer Mannigfaltigkeit gelebt haben.

Man kann im Karbon eine nördliche, eine äquatoriale und eine südliche tiergeographische Provinz unterscheiden. Es überwiegen weitaus klastische

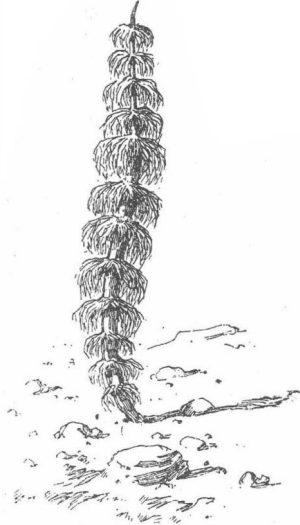


Fig. 116 *Asterocalamites*
(nach J. Walther)

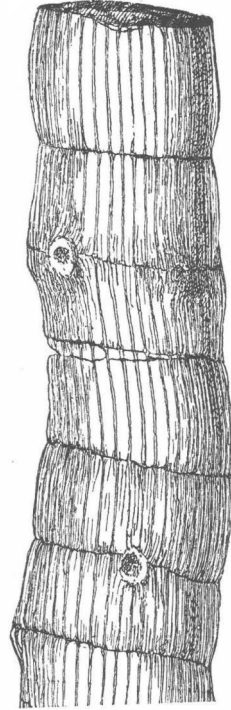


Fig. 117 *Asterocalamites*. Rindenoberfläche
(nach Potonié-Gothan)

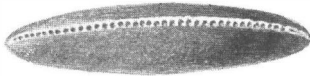


Fig. 118 *Fusulina cylindrica* Fisch.,
10 mal

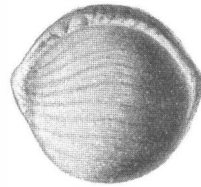


Fig. 119 *Schwagerina princeps* Ehrb.,
5 mal

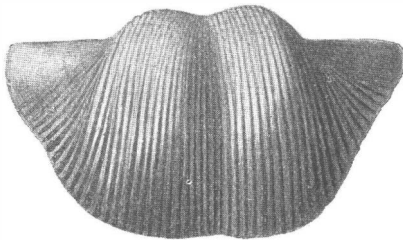


Fig. 120 *Productus semireticulatus* Mart.
Schaffer, Grundzüge der Geologie



Fig. 121 *Posidonia Becheri* Bronn
10

Bildungen des Festlandes, die bis zu 18 km Mächtigkeit erreichen. Ihnen sind die Kohlenflöze in vielen Horizonten eingeschaltet und sie verraten daher ein beträchtliches Nachsinken mit Unterbrechungen. Das wichtigste Vorkommen sind die großen Anhäufungen vegetabilischer Substanzen, die Anlaß zur Kohlenbildung gewesen sind. Die Flöze sind größtenteils autochthon, zum Teil paralisch wie in England, Belgien, Westphalen, Oberschlesien, Polen und limnisch wie im Saargebiete, Sachsen, Niederschlesien, Böhmen, Zentralfrankreich. Die Kohlenflöze sind meist auf den oberen Teil der Formation beschränkt. Diese ist die wichtigste für unsere heutige technische Zivilisation und ihre Kenntnis daher weit vorgeschritten.

Das marine Karbon ist in den Ostalpen, in Europa, in Nordafrika, über Asien und auch in den anderen Kontinenten weit verbreitet.

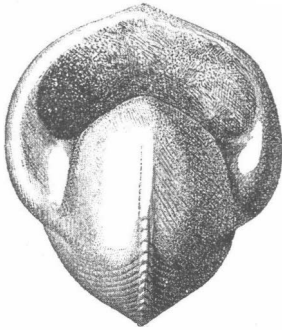


Fig. 122 *Bellerophon costatus* Sow.,
 $\frac{1}{2}$ mal

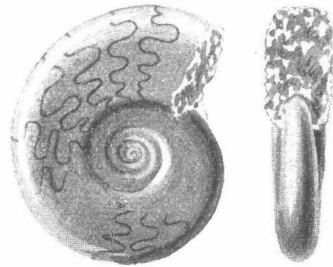


Fig. 123 *Pronorites cyclolobus* Phill.,
Steinkern

5. Permische Formation

Der Name stammt von der russischen Provinz gleichen Namens. Die alte Bezeichnung Dyas (vom griechischen dyo = zwei) rührt von der Zweiteilung in das „Rotliegende“ und den „Zechstein“ in Deutschland her.

In dieser Zeit nimmt die Ausdehnung des Festlandes überhand und besonders scheinen Verbindungen der Südkontinente mit dem antarktischen Festlande bestanden zu haben, was der Verlauf der Geosynklinalen bei der so weit verbreiteten Faltung ermöglicht hat. Ein großes Binnenmeer bestand im Oberperm von Südengland über die deutsche Tiefebene bis an den Ural und ähnliche Verhältnisse herrschten in den Südstaaten der amerikanischen Union. Die Faltung dauerte an. Europa war größtenteils landfest und die vulkanische Tätigkeit sehr lebhaft.

Die klimatischen Zustände zeigen ganz einzigartige Veränderungen, indem auf der indischen Halbinsel bis an die Salzkette, in Tasmanien und Australien, Südafrika und Südamerika ausgedehnte Vereisungen platzgriffen, deren hunderte Meter mächtigen Blocklehme (Tillite) erhalten sind. In Indien bewegte sich das Eis über 800 000 km² nordwärts, ebenso in Australien; in Südafrika fächerförmig südwärts. Diese

Vereisungen sind wohl auf Hebungen der Festlandsschollen zurückzuführen und sie enden mit einer Transgression des Meeres, also mit einer Senkung des Landes, was diese Annahme sehr bekräftigt. In Verbindung mit diesem Klimawechsel erscheint auf der Südhalbkugel, vom Polargebiete ausgehend, eine neue Flora, die durch *Glossopteris* (Fig. 124) und *Gangamopteris*, die der Hirschzunge unserer Wälder ähnlich sind, charakterisiert war. Die alte Lepidodendronflora wurde allmählich verdrängt. Die Hölzer weisen Jahresringe, also einen Einfluß des Wechsels der Jahreszeiten auf. Diese verschwinden aber mit der Vereisung und das Klima scheint wieder einheitlich wärmer geworden zu sein.

In dem von Wüsten umgebenen, ausgedehnten mitteleuropäischen Binnenmeere ging Abdampfung vor sich. Gips, Salz und Kalisalze wurden durch die Auslaugung eines weiten Zentralgebietes und Anreicherung der Salze in einem weit kleineren Becken abgelagert. Im Durchschnitte bis 300 m mächtig (in Salzstöcken wie bei Sperenberg unweit Berlin aber bis 1200 m stark), ist das Salzlager mit seinen Kalisalzen einer der größten Naturschätze Deutschlands. Durch die für die chemische Industrie wichtigen Kalisalze ist besonders der Grubenbezirk von Staßfurt (preuß. Reg.-Bez. Magdeburg) berühmt. Dem Perm fehlen Sigillarien und Lepidodendren fast ganz. Farne sind häufig, ebenso Koniferen (*Walchia*, *Voltzia*) und Cycadeen (*Pterophyllum*, Fig. 138). Die Fusulinen sind noch gesteinsbildend weit verbreitet, unter den Brachiopoden sind besonders die Gattungen *Productus* und *Pentamerus*, von Muscheln dünnschalige Formen wie *Pseudomonotis* und *Pecten* zu nennen. Die Nautilen treten zurück und Ammonoideen herrschen vor, darunter schon eine Anzahl hochentwickelter Formen (Fig. 125). Die Trilobiten sterben aus. Die Fischfauna ist ähnlich der des Karbon. Unter den Amphibien sind die Stegocephalen bemerkenswert, Panzerlurche bis 2 m Länge wie *Archegosaurus*, *Eryops* (Fig. 126) u. a. von Reptilien sind *Pareiasaurus* 2 bis 3 m lang, *Dimetrodon* (Fig. 127) und *Naosaurus* mit langen Dornfortsätzen auf dem Rücken zu erwähnen.

Die boreale Provinz ist von der äquatorialen zu unterscheiden. In Verbindung mit dem Auftreten der neuen Flora finden sich ausgedehnte Kohlenlager in China, Australien, Südafrika, Südamerika. Der alten Flora gehören die Flöze von Rossitz in Mähren, Nürschan in Böhmen und auch einige in Sachsen und Frankreich an.

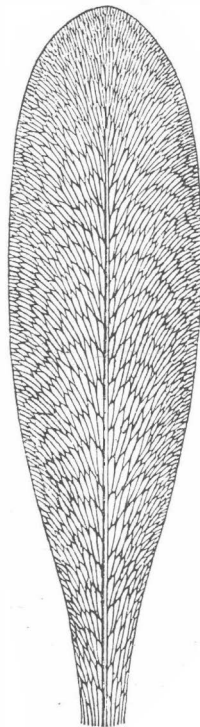


Fig. 124 *Glossopteris Browniana* Brong.
(nach R. Zeiller)

Große Massen von roten Sand- und Tongesteinen finden sich zum letzten Male so in Norddeutschland, Indien, Südafrika.

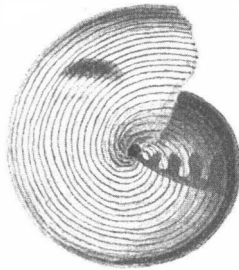


Fig. 125 *Agathiceras Suessi* Gem.

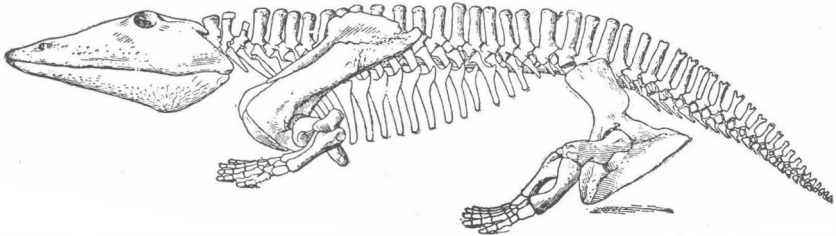


Fig. 126 *Eryops megalcephalus* Cope., $\frac{1}{15}$ mal (nach E. C. Case)

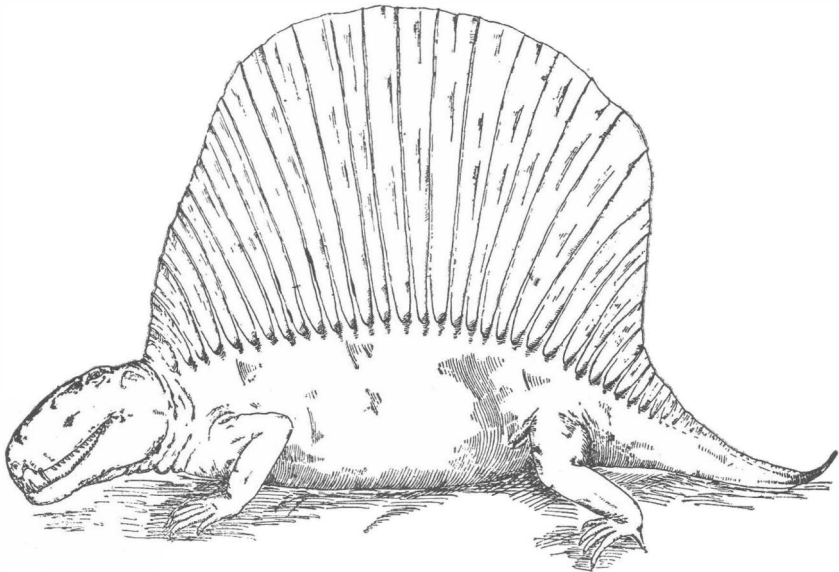


Fig. 127 *Dimetrodon incisivus* Cope. $\frac{1}{25}$ mal (nach E. C. Case)

Das Rotliegende Deutschlands ist noch eine Bildung trockener Gebiete, aber mit dem Zechstein dringt das Meer von Osten ein und eine seichte Wasserbedeckung greift platz, wie sie sich in dem Gebiete durch

die folgenden Formationen bis in das Tertiär mit Unterbrechungen verfolgen läßt. In den Südalpen und im Mittelmeergebiet herrscht größtenteils freies Meer mit fossilreichen Kalkbildungen (Bellerophonkalk), die sich auch in Südasien (Produktuskalke) finden. In den erwähnten Gebieten der Vereisungen herrschen Landbildungen weit aus vor.

III. Mesozoische Formationsgruppe

Wenn sich auch zwischen den beiden Ären so große Gegensätze in der Organismenwelt zeigen, so gibt es doch nur einen allmählichen Übergang und keinen Sprung. Die Festländer der Südhalbkugel treten in Verbindung mit dem antarktischen Kontinente weiter in den Vordergrund und spielen auch als „Asyle“, als Zufluchtstätten der Festlandsfaunen zu Zeiten der nun folgenden Transgressionen eine Rolle. Das Land um den Indischen Ozean, das *Gondwanaland*, wurde zum Teil zertrümmert und ist niedergebrochen. Schwankungen der Festlandsschollen bewirken die größten, aber seichten Überflutungen, die wir in der Erdgeschichte kennen. Dafür herrscht eine auffällige tektonische Ruhe bis in die jüngste Periode und die Formationen liegen mit Ausnahme der Gebiete der in der Kreide- und Tertiärzeit aufgefalteten Gebirge fast ungestört. Diese Faltungerscheinungen sind auf die schon recht schmalen Geosynklinalen beschränkt. Eine besonders an der Westküste Amerikas nachgewiesene Faltung erfolgt am Ende der Jura-periode.

Die Schichtfolge ist nur etwa 12000 m stark. Metamorphose ist selten. Die Sedimentationsvorgänge sind meist leicht zu erkennen und Kalke und Dolomite spielen eine große Rolle. Kohlen sind nur in geringerem Maße gebildet worden. Die vulkanische Tätigkeit ruht größtenteils und beginnt sich erst in der Kreidezeit zu beleben.

Ein Wechsel der Jahreszeiten verrät sich in den Jahresringen der Holzgewächse und Klimazonen sind angedeutet. Die riffbauenden Korallen reichen nicht mehr so weit polwärts. Zum Schlusse der Ära greift eine bedeutende Verschlechterung des Klimas platz, die wohl die Ursache des Aussterbens der wichtigsten Gruppen der Tierwelt, der Dinosaurier, Flugsaurier, Ichthyosaurier, der Ammoniten, Belemniten u. a. gewesen ist. Glaziale Spuren fehlen dem Zeitalter fast ganz.

Die Flora weist nicht mehr die altertümlichen Formen auf (Fig. 85). Herrschend sind Sagopalmen ähnliche Cykadeen und farnähnliche Gewächse und Koniferen. Palmen und Angiospermen sind von der Kreidezeit ab von Bedeutung. Kalkalgen spielen eine große Rolle als Gesteinsbildner.

Es erscheinen die ersten Säugetiere (Fig. 128) — winzige Kieferstücke und mehrhöckerige Zähne — durchwegs kleine, primitive Formen in 35 Gattungen, die meist Beuteltiere oder Insektenfresser und eierlegende Kloakentiere ähnlich dem Schnabeltiere, gewesen sind.

Der erste Vogel, *Archaeopteryx* (Fig. 129), ist im oberen Jura von Solnhofen gefunden worden. Es sind zwei sehr vollständige Reste

von Tauben- bis Hühnergröße, mit Vogelschnabel mit Zähnen, eidechsenähnlichem Schwanz mit Steuerfedern und Flügeln mit Krallen an den Fingern. In der Kreidezeit erscheinen höher entwickelte größere Formen.

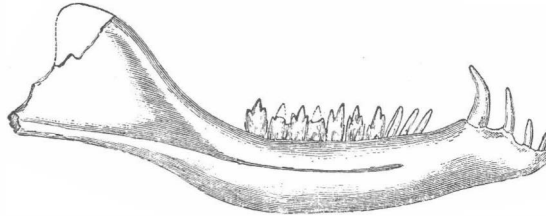


Fig. 128 Unterkieferast von *Dromatherium sylvestre* Emm., 3 mal (nach H. F. Osborn)

Die Reptilien erreichen ihre größte Entfaltung mit zehn Ordnungen gegenüber vier der Gegenwart. Sie waren dem Leben auf dem Festlande, im Meere, im Süßwasser und in der Luft angepaßt. Ihre

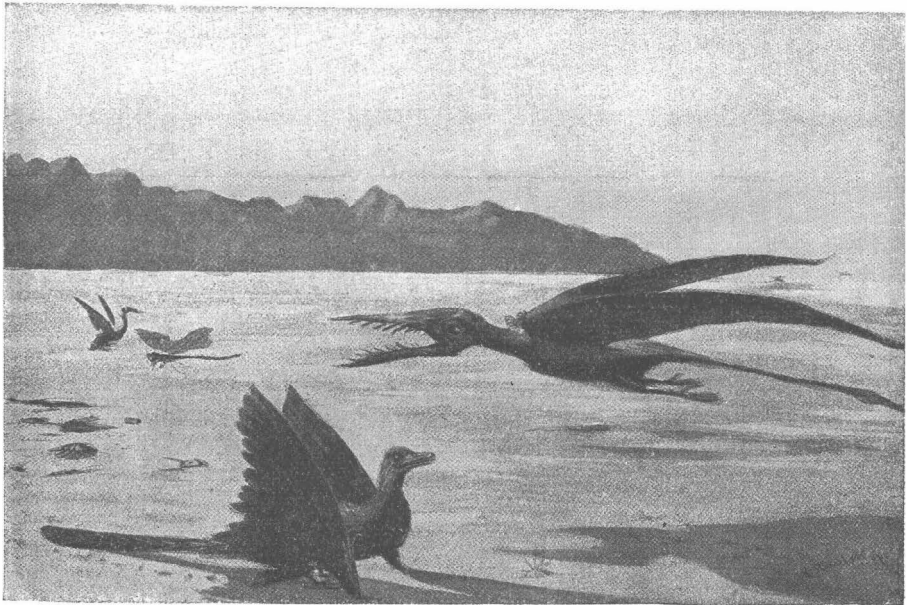


Fig. 129 Lebensbild in der Lagune von Solnhofen (oberer Jura). Im Vordergrund sitzend *Archaeopteryx*, fliegend *Rhamphorhynchus*, im Hintergrunde sitzend *Pterodactylus* und ein riesiges Insekt (nach J. Walther).

wichtigste Ordnung sind die Dinosaurier, die die größten Lebewesen umfaßt, die je das Festland bewohnt haben. Es sind vierfüßige und zweifüßige (mit reduzierten Vorderextremitäten) Fleisch- und Pflanzenfresser und manche ihrer Formen zeigen ganz absonderliche Gestalten. Der Körper war nackt oder mit Knochenplatten bedeckt. Sie gelangen

an der Wende der Jura- zur Kreidezeit zur größten Entwicklung und sterben am Ende der Ära so plötzlich aus, daß wir dafür noch keine befriedigende Erklärung finden. Hauptsächlich Nordamerika, Ostafrika

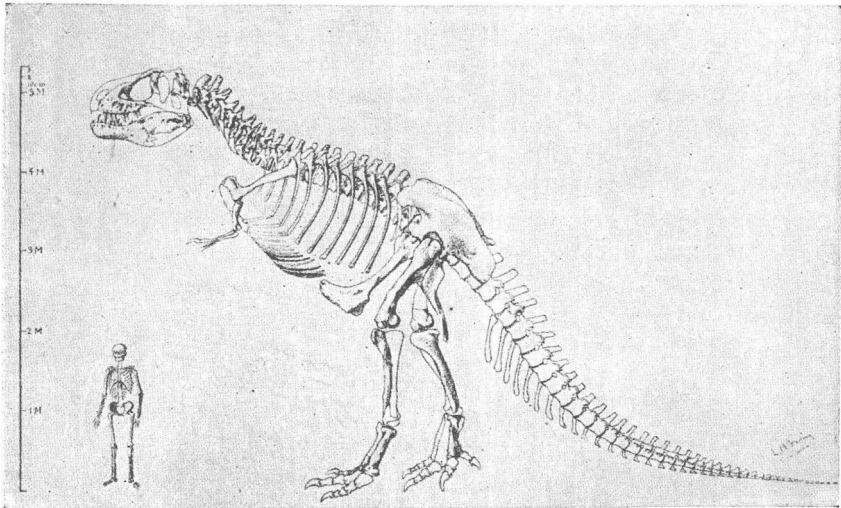


Fig. 130 *Tyrannosaurus*, Oberkreide, im Vergleiche mit einem menschlichen Skelett, $\frac{1}{90}$ mal (nach W. D. Matthew)

und Zentralasien sind ihre Hauptverbreitungsgebiete gewesen. Zu ihnen gehören die Raubtiere *Allosaurus* bis 10 m lang und *Tyrannosaurus* (Fig. 130), die Pflanzenfresser *Brontosaurus* 20 m, *Diplodocus* bis

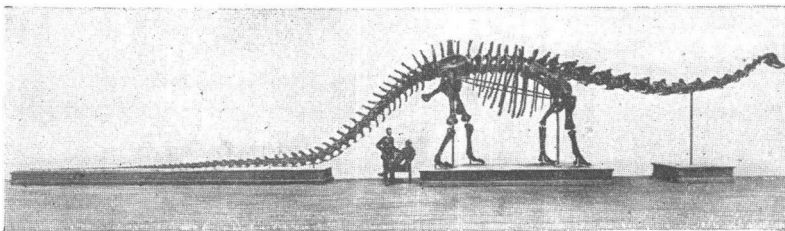


Fig. 131 *Diplodocus Carnegiei* Hatch., Oberer Jura, zirka $\frac{1}{300}$ mal

35 m (Fig. 131) und der noch größere *Brachiosaurus*, weiters *Iguanodon* bis 10 m lang (Fig. 132), *Stegosaurus* bis 9 m, *Triceratops* 8 m (Fig. 133).

Überaus eigentümlich waren die Flugsaurier, die mit den zu einem Flugorgan umgewandelten Vorderextremitäten große äußere Ähnlichkeit mit Vögeln hatten. Sie dürften sich von Fischen und Insekten genährt haben und erreichen bis 8 m Flügelspannweite wie *Pteranodon*. *Pterodactylus* und *Rhamphorhynchus* (Fig. 129) waren in Europa weit verbreitet.

Krokodile, Schildkröten, Schlangen und Eidechsen sind von geringer Bedeutung. Die Beherrscher der Meere waren die Plesiosaurier bis 13 m lang, mit kleinem Kopfe und starkem Gebisse, sehr



Fig. 132 *Iguanodon Bernissartensis* Blgr., Unterkreide, zirka $\frac{1}{60}$ mal
(nach L. Dollo)

langem Halse, querovalen Körper mit Paddeln und kurzem Schwanze (*Plesiosaurus*, bis 5 m lang) und die Ichthyosaurier von fisch-

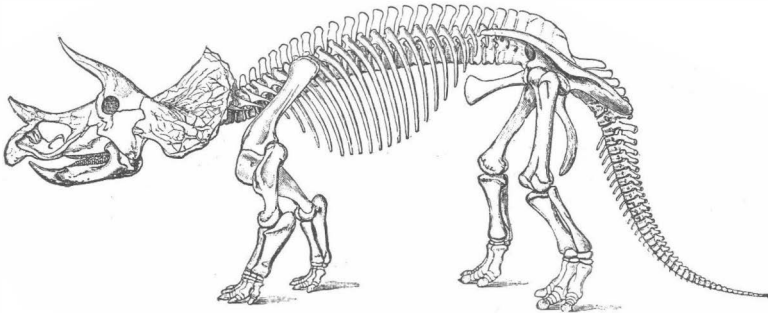


Fig. 133 *Triceratops prorsus* Marsh, zirka $\frac{1}{70}$ mal (nach O. C. Marsh)

artigem Körperbau mit delphinähnlichem, langgeschnauztem Kopfe, die bis 12 m Länge erreichten (Fig. 134).

Die Amphibien treten mehr zurück. Manche Formen, wie *Trematosaurus* und *Metopias* (Fig. 135) sind bezeichnend. Besonders in der Trias sind vielfach Schichtflächen sandiger und toniger Gesteine

auf weite Erstreckung mit unzähligen Fährten bis zu 60 cm Größe bedeckt, die Reptilien und Amphibien angehören.

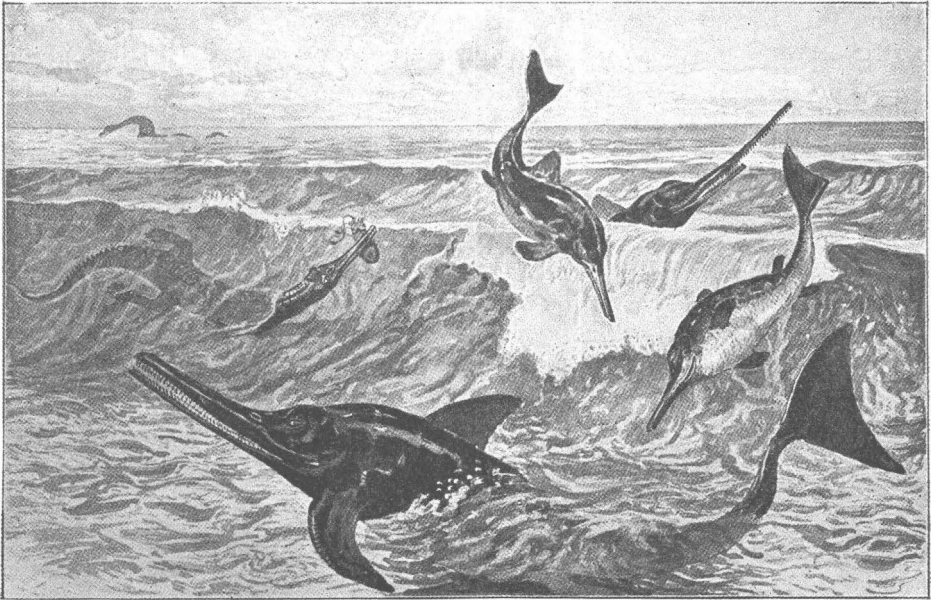


Fig. 134 Ichthyosaurier und *Teleosaurus* im Liasmeere (nach E. Fraas)

Unter den Fischen sind Haie, Dipnoer und Ganoiden weit verbreitet und im Jura erscheinen die Knochenfische, die herrschend werden.

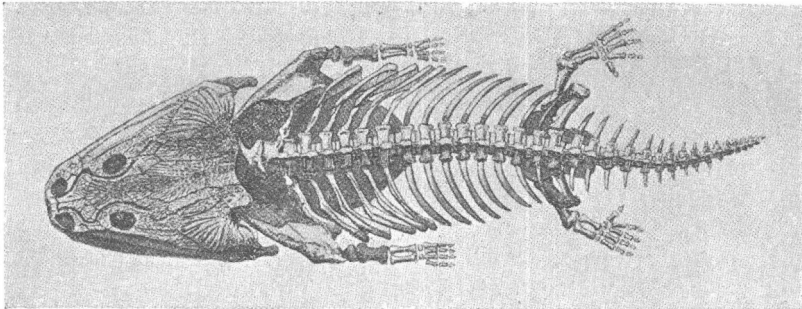


Fig. 135 *Metopias diagnosticus* H. V. Mey., zirka $\frac{1}{18}$ mal (nach E. Fraas)

Langschwänzige Krebse und Krabben sind an manchen Punkten in großer Zahl vertreten und die Insekten haben besonders im unteren und oberen Jura reiche Faunen geliefert, die wichtige Anhaltspunkte für Klimaveränderungen sind.

Tintenfische und ebenfalls zu den Zweikiemern gehörige Belemniten, deren Lebensweise noch ganz ungeklärt ist, erscheinen in großer

Mannigfaltigkeit und Anzahl. Die Belemniten treten in der Trias unvermittelt auf und sterben zu Beginn des Tertiärs aus. Sie dürften wohl den Tintenfischen nahestehen und haben zwei Kiemen und sechs bis zehn mit Häkchen versehene Arme, Tintenbeutel und eine innerliche Schale besessen. Diese war kegelförmig, gekammert und steckte hinten in einer kalkigen massiven Scheide (Rostrum) (Fig. 136), die meist allein erhalten ist. Die Rostra erreichten 1 m Länge.

Die Nautiloideen treten von nun an ganz zurück. Die echten Ammoniten sind die wichtigsten Mollusken und Leitfossilien, da sie bei rascher zeitlicher Veränderung eine oft weltweite Verbreitung besitzen. Ihre Entwicklungsgeschichte und Lebensweise ist noch wenig geklärt. Jede Formation, ja jede deren Abteilungen ist durch mannigfaltige Formengruppen ausgezeichnet und kurzlebige, weitverbreitete Arten lösen einander ab, sodaß besonders im Jura Deutschlands eine Zonenfolge geschaffen wurde, die sich in sehr entfernten Gebieten wiederfindet und dem Ideal einer stratigraphischen Gliederung nahekommt. In der Trias zeigen die Lobenlinien der herrschenden Formen noch einfache Entwicklung, wie sie bei den Goniatiten und Ceratiten üblich ist, aber

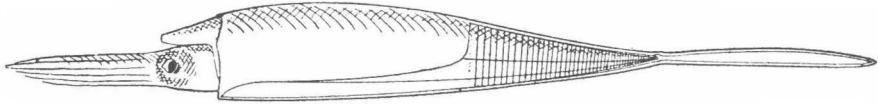


Fig. 136 Rekonstruktion eines Jugendexemplares eines Belemniten (nach E. Naef)

es stellt sich auch schon die reichste Zerschlitzung ein. Im Jura erscheinen fast durchwegs neue Formen und mit der Kreide tritt nochmals eine Umbildung ein, wobei aberrante, wohl degenerierte Typen mit evoluten (aufgerollten), geraden, gebogenen oder schraubenförmigen Gehäusen auffallen. Dann sterben die Ammoniten am Schlusse der Kreidezeit so plötzlich aus, daß sich keiner in das Tertiär hinüber rettet. Ihre weite Verbreitung und stellenweise Anhäufung wird darauf zurückgeführt, daß die Schalen nach dem Tode der Tiere infolge der Verwesungsgase schwimmend als Plankton durch die Wellen und Strömungen fortgeführt wurden.

Die Schnecken und Muscheln entwickeln sich überaus mannigfaltig und unter diesen sind besonders sehr plumpe, dickschalige Formen zu erwähnen, die verschiedenen Familien (Chamidern, Capriniden und Rudisten) angehören, sehr ungleichklappig, aufgewachsen und mit sehr starken Zähnen auf der freien, kleineren Klappe versehen sind. Sie gehören zu den wichtigsten Kalkbildnern und sind auf die Kreidezeit beschränkt.

Die Brachiopoden sind von geringerer Bedeutung. Die Seeigel erscheinen in ganz neuen Gruppen, die besonders die bilateral symmetrischen (irregulären) Formen aufweisen. Die Seelilien erreichen die Höhe ihrer Entwicklung mit der neuen Ordnung der Articulata. Die Hexakorallen lösen die älteren Gruppen ab und unter ihnen sind bis

heute die wichtigsten Riffbauer die *Astraeiden*, *Fungiden*, *Poritiden*, *Madreporiden* u. a. Deren Zurückweichen von den höheren Breiten ist sehr auffällig. Kiesel-spongien und Radiolarien bilden neben Diatomeen die Hornsteine, Radiolarite, Jaspise, Kieselkalke usw. Die Foraminiferen sind auch als Gesteinsbildner besonders in der Kreide wichtig, wo die Schreibkreide größtenteils aus ihren Schälchen gebildet ist.

In der mesozoischen Ära lassen sich tiergeographische Reiche und Provinzen unterscheiden, die aber größtenteils auf Ammoniten beruhend ihre biologische Bedeutung noch nicht bewiesen haben.

Das Mesozoikum wird in die Trias-, Jura- und Kreideformation eingeteilt, deren Grenzen zum Teil verschieden gefaßt werden.

1. Triasformation

Die Trias hat ihren Namen in Deutschland erhalten, wo eine deutliche Dreiteilung besteht. Aber dies ist eine ungünstig entwickelte, reduzierte Ausbildung in einem Binnenmeere, das von nun an stets in diesem Gebiete geherrscht hat. Die Verteilung der Meere (Fig. 137) nähert sich der heutigen, aber es bestanden landfeste oder Inselverbindungen nach dem Südpolarlande. Es fehlen große Transgressionen und bedeutende Faltungerscheinungen in den sehr ausgeprägten Geosynklinalen, die die Randmeere des Pazifischen Ozeans und das Mittelmeer in Südeuropa und Südasien umfaßten. Die Tiefländer sind in Ausdehnung begriffen, da die Abtragung fortschreitet und Süßwasserbecken der früheren Zeit trocken gelegt werden. Die vulkanische Tätigkeit ist gering. Granite, Diabase, Diorite, Gabbro, Melaphyr, Porphyre sind als Laven und Tuffe der Schichtfolge eingeschaltet.

Die im Perm erneute Flora ist arm und enthält Farne (*Taeniopteris*), Schachtelhalme, Equisetaceen (*Equisetum*), Nadelhölzer, Koniferen (*Gingko*, *Voltzia*), Cycadophyten (*Pterophyllum*) (Fig. 138) u. a. Riffbauende Algen, Dasycladaceen (*Gyroporella*, *Diplopora*) bauen die größten Kalkmassen auf. Kohlenflöze sind selten. Im oberen Teile der Formation, dem Rhät, erscheinen neue Formen von Farnen und echte Cycadeen, Taxodien und Araucarien. Die Rhätflora ist über die ganze Erde verbreitet und reicht bis zum 70.^o n. B., zeigt also ein sehr mildes, ausgeglichenes Klima. Die Fauna besitzt wenig charakteristische Formen. Korallen, Seelilien (Fig. 139) unter den Brachiopoden, *Terebratulula* (Fig. 140) und *Rhynchonella* (Fig. 141) und zahlreiche Muschelgattungen, darunter *Ostrea*, *Megalodus* (Fig. 142, 143), *Trigonia*, *Monotis* (Fig. 144), *Daonella* u. a. sind weit verbreitet. Die echten Ammoniten liefern in einer sehr großen Zahl von Gattungen die wichtigsten Leitfossilien. Zum Teil zeigen sie die einfache ceratitische Lobenlinie, wie *Ceratites* (Fig. 145) und *Xenodiscus* oder eine stark zerschlitzte, wie *Arcestes*, *Tropites*, *Phylloceras*, *Pinacoceras*, *Trachyceras* u. a. (Fig. 146). Manche sind reich verziert und haben wohl am Meeresgrunde gelebt, andere, vermutlich schwimmende Formen sind glatt. Am Ende der Periode



Fig. 137 Erdkarte der Obertrias. Festländer weiß, Meere schraffiert. Der Verlauf der wichtigsten Gebirgszüge ist durch stärkere Striche angezeigt. I. Boreales Tierreich, II. Andines Reich, III. Mediterranes Reich, IV. Himamalaiisches Reich; a Kongogolf, b Äthiopisches Mittelmeer, c Gondwanaland (nach C. Diener).

sterben sie bis auf die eine Familie der Phylloceratiden aus. Es erscheinen die ersten Belemniten.

Unter den Fischen überwiegen die Schmelzschupper (Ganoiden) und Doppelatmer (Dipnoër) wie *Ceratodus*. Die Stegocephalen leben

noch und ihnen sowie den Dinosauriern gehören wohl die zahlreichen Fährten im Sandsteine vieler Gegenden an. Es erscheinen die Ichthyosaurier, *Plesiosaurus*, die Schildkröten und andere Gruppen. *Zanclodon*

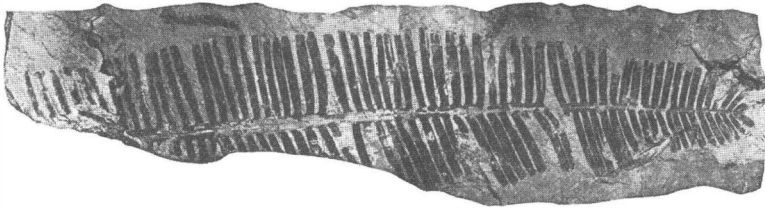


Fig. 138 *Pterophyllum longifolium* Brongn., $\frac{1}{3}$ mal (nach F. Leuthardt)

war ein riesiger Meeressaurier, aber die meisten Formen waren noch klein und nehmen erst später an Größe zu.

Klimazonen lassen sich noch nicht faunistisch festlegen, aber ein boreales und subtropisch äquatoriales Gebiet ist erkennbar. Man hat vier Tierreiche auf



Fig. 139 *Encrinurus liliiformis* Lamk.

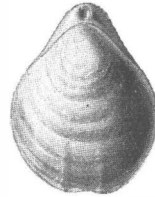


Fig. 140 *Terebratula gregaria* Sss.

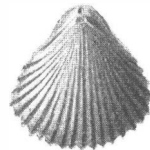


Fig. 141 *Rhynchonella fissicostata* Sss.

Grund der Ammonitenfauna unterschieden. Das germanische Gebiet zeigt eine verarmte Mittelmeerfauna. Die Mächtigkeit der Schichtfolge ist gering; in den Geosynklinalen etwa 6000 m, in Deutschland etwa 1500 m. Kontinentalbildungen sind weit verbreitet und die eines Trockenklimas mit Gips und Steinsalz und lagunäre Ablagerungen zeigen den Kampf zwischen Meer und Festland. Unter den marinen Bildungen spielen Kalke von Algen, Korallen, Krinoiden, Brachiopoden und vor allem Ammonoiten eine große Rolle. Die Riffkalke sind oft strukturlos und bisweilen in Dolomit umgewandelt. Eine rote, tonige Färbung ist recht charakteristisch, wie z. B. in der Hallstätter Fazies der Alpen. Radiolarien-

gesteine sind häufig, der Fazieswechsel oft schroff und erschwert die Parallelisierung der Schichten.

In Deutschland hat man frühzeitig den Buntsandstein, Muschel-

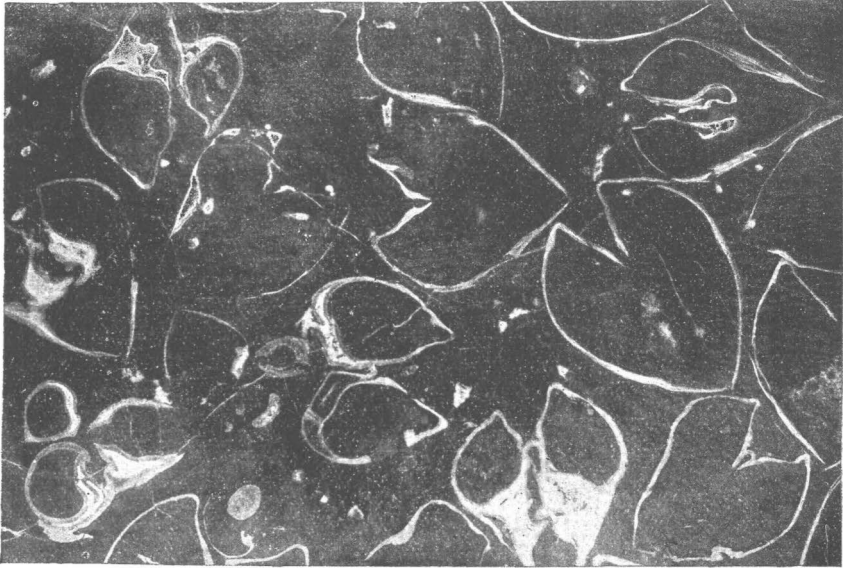


Fig. 142 Dachsteinkalk mit Megalodonten, $\frac{1}{8}$ mal

kalk und Keuper unterschieden. In den Alpen, die die weltweite Entwicklung zeigen, war die Gliederung infolge fazieller Mannigfaltig-

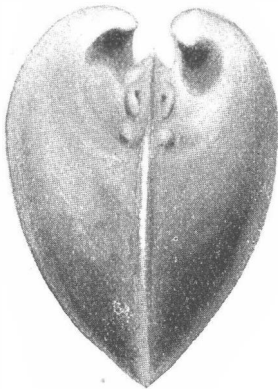


Fig. 143 *Megalodus triquetrus*
Wulf., Steinkern

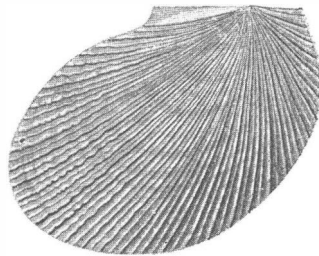


Fig. 144 *Monotis salinaria* Schloth.

keit und tektonischer Störungen sehr erschwert. Schließlich ist folgende, auch über weite Gebiete Asiens und Amerikas zu verfolgende Gliederung geschaffen worden.



Fig. 145 *Ceratites nodosus* Schloth.

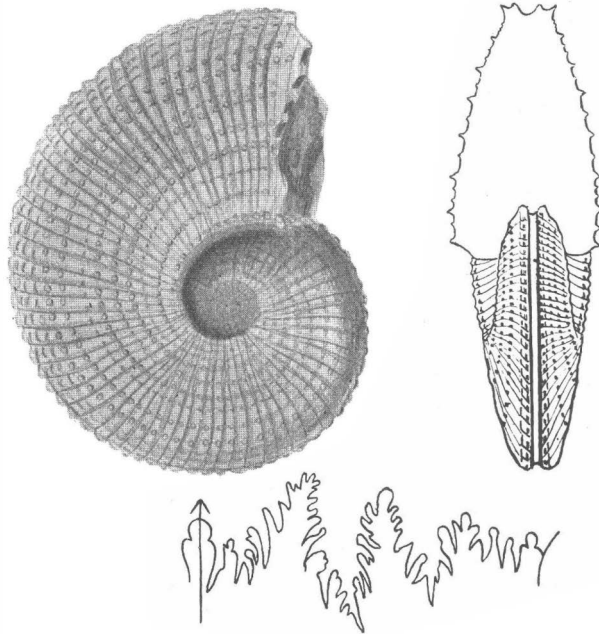


Fig. 146 *Trachyceras aonoides* Mojs., mit Queransicht und Lobenlinie

Rhätische Stufe (Kössener Schichten)	} Obere Trias
Norische Stufe	
Karnische Stufe	
Ladinische Stufe	} Mittlere Trias
Anisische Stufe	
Scythische Stufe (Werfener Schichten)	Untere Trias

Von England über die deutsche Ebene bis Polen und südlich bis an die zentraleuropäischen Horste, aber auch an einzelnen Punkten Südeuropas und Nordafrikas ist die germanische Triasentwicklung verbreitet. Der Buntsandstein ist das Endglied der mächtigen Folge meist roter Sandsteine, die seit den ältesten Zeiten in Nordeuropa und auf dem nordatlantischen Kontinent abgelagert worden sind. Er ist bis 1000 m mächtig, eine Bildung trockenen Klimas, mit Gips und Salz und zeigt zum Teil Dünenstruktur. Er ist der Baustein der romanischen und gotischen Baukunst. In Tonen, Mergeln und Kalken des Muschelkalkes und Keupers findet sich eine reduzierte marine Fauna von kleinen Muscheln und Ammoniten, die Verwandtschaft mit den alpinen zeigen. Pflanzenreste, Fische, Amphibien und Reptilien sind an vielen Orten gefunden worden.

In den Westalpen herrscht eine der deutschen ähnliche, helvetische¹ Seichtwasserentwicklung. In den Ostalpen findet sich, besonders in der nördlichen und südlichen Kalkzone, die weitverbreitete mächtige und faziell überaus mannigfaltige mediterrane Ausbildung mit einem außerordentlichen Reichtum an gut erhaltenen Versteinerungen (Alpine Trias). An der Basis liegen die fossilarmen bunten Werfener Schichten, Konglomerate, Sandsteine, Schiefer, Tone mit Salzen und Gipsen (Haselgebirge), die in Bayern und Österreich von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind. Dieses Schichtglied ist wasserundurchlässig und ein wichtiger Quellenhorizont. In Südtirol herrscht eine kalkig-dolomitische oder schieferige Ausbildung, zum Teil Riffazies mit reicher Fauna.

Die mittlere Trias ist hauptsächlich kalkig entwickelt und umfaßt u. a. die schwarzen Gutensteinerkalke, die grauen Reiflingerkalke, den hellen 1000 m mächtigen Wettersteinkalk, die roten Schreieralmkalke (bei Hallstatt) mit reicher Fauna, in den Südalpen den Mendeldolomit, den fossilreichen Recoarokalk, die kalkigen Buchensteinerschichten, Tuffe und Mergel von St. Cassian mit reicher Fauna und die Hauptmasse des 1000 m mächtigen Schlerndolomites und fossilreiche Diploporenkalke der Marmolata.

Die obere Trias umfaßt in der karnischen Stufe, in den Nordalpen u. a. die sandig-mergeligen *Cardita*schichten, den Lunzer-Sandstein mit Pflanzen und Kohlen, die roten, gelben, grauen, ungemein fossilreichen Cephalopodenkalke und Marmore der Hallstätter-Fazies im Salzkammergute, in den Südalpen die kalkigen und mergeligen Raiblerschichten mit Fische und Pflanzen führenden Schiefeln. Sie ist durch klastische Ablagerungen, also Anzeichen der Bildung einer Inselgruppe gekennzeichnet.

Die norische Stufe ist wieder überwiegend kalkig und dolomitisch. Dazu gehören der helle, 1000 m mächtige Hauptdolomit und Dachsteinkalk der Nordalpen, die die Hochplateaus vom Steinernen Meer ostwärts aufbauen, mit wenig Fossilien, vor allem großen Megalodonten. Im Salzkammergute herrscht weiter die Fazies der Hallstätterkalke und in den Südalpen die gleiche kalkig-dolomitische Ausbildung wie früher. Die rhätische Stufe ist gering mächtig, meist mergelig kalkig und schieferig und zeigt einen Rückzug des Meeres in den Alpen an. Dazu gehören die Kössener Schichten mit zahlreichen Fossilien und die oberen Dachsteinkalke und Riffkalke.

Eine ähnliche Ausbildung wie in den Alpen herrscht im Apennin, in den Karpathen, Griechenland, Kleinasien, Iran, Himalaya, Südchina, Niederländisch-Indien, überall mit vielen alpinen Formen, ebenso in Japan, im Westen Amerikas und Neuseeland.

¹ Helvetia, die Schweiz.

2. Juraformation

Ein Hauptcharakterzug der Formation sind die in ihrem mittleren und oberen Teile auftretenden ausgedehnten Transgressionen, die über

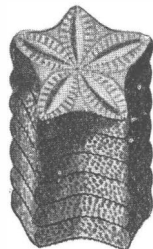


Fig. 147 *Pentacrinus tuberculatus*
Mill., Stiel, 1½ mal

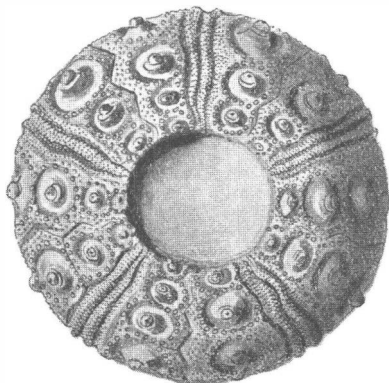


Fig. 148 *Cidaris coronata* Goldf.

die Kontinente hinweggegangen sind. Große fazielle Mannigfaltigkeit und gute Erhaltung der Fossilien haben sie zu einem Lieblingsgebiete der Forschung gemacht und es konnte in Deutschland eine Gliederung



Fig. 149 *Ostrea Marshi* Sow., ½ mal



Fig. 150 *Gryphaea arcuata* Lam.

in 33 Zonen auf Grund von Ammoniten durchgeführt werden, die sich zum Teil über die ganze Erde verfolgen lassen. Die Formation wird nach englischen Lokalausdrücken in den unteren, schwarzen Jura oder Lias, in den mittleren, braunen Jura oder Dogger und den oberen, weißen Jura oder Malm eingeteilt.

Die Umrisse der Kontinente haben sich wenig geändert, nur beginnt sich das von Indien bis Madagaskar reichende Festland Lemuria¹ vom afrikanischen Kontinente zu trennen. Das nordatlantische Festland stand noch in Verbindung mit Westeuropa. Der untere Jura ist im mittleren und östlichen Europa bis

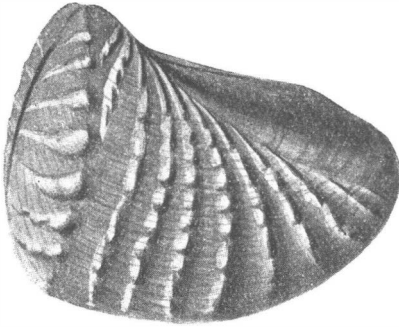


Fig. 151 *Trigonia navis* Lam.

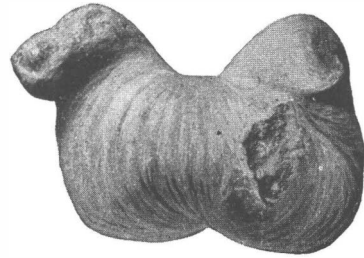


Fig. 152 *Dicerias originale* Bayle, beide Klappen, $\frac{1}{2}$ mal

Persien und China kontinental entwickelt und dann traten, wohl durch geringe Schaukelbewegungen der Festlandsschollen weite Überflutungen ein, während

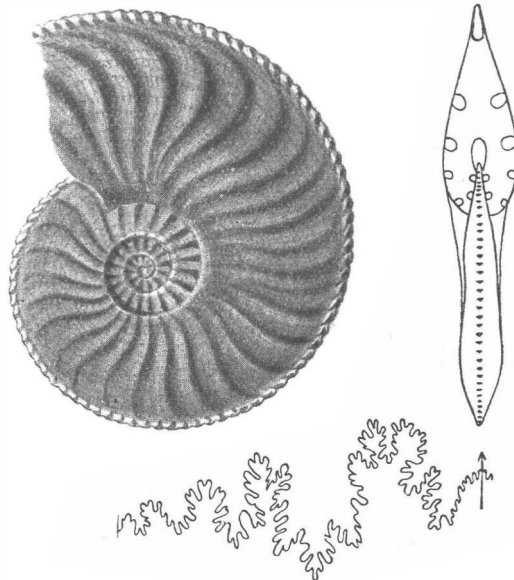


Fig. 153 *Amaltheus margaritatus* d'Orb., $\frac{2}{3}$ mal, mit Queransicht und Lobenlinie

in den Geosynklinalen die Sedimentation weiter fortschritt. Hier stellen sich Faltungen ein, wie im Bereiche der Alpen, im Gebiete um das Schwarze Meer, um den Pazifischen Ozean und besonders kräftig im Westen Amerikas. Auch in Mitteldeutschland fanden Hebungen der Horste statt, während in ganz West-

¹ Nach den dort vorkommenden *Lemuridae*, einer Familie der Halbaffen.

und Mitteleuropa das seichte Meer in die Senkungsfelder einbrach. Die Alpen waren anscheinend ein Archipel. Die ausgedehnten Tiefländer der Kontinente ermöglichten die weiten Überflutungen. Es herrschte ziemlich vulkanische Ruhe in Europa.

Das ozeanische Klima zeigt eine weitgehende Ausgleichung. Glaziale Spuren fehlen und die Trockengebiete sind eingeschränkt. Man kann zwar nicht, wie versucht wurde, klimatische Zonen auf Grund der Meeresfaunen unterscheiden, aber die boreale Region, der die Riffkorallen fehlen, tritt deutlich hervor. Diese reichen nur mehr 25° nördlicher als heute bis Süd-Deutschland und Frankreich. Die jurassischen Koniferen (Abietineen bis unter dem 78.° nördl. Br.) zeigen schon Wachstumsringe. Auch das Aufblühen des Reptiliensammes setzt ein warmes Klima voraus. Die Pflanzenwelt spielt eine geringere Rolle. Farne und besonders Gymnospermen (Cycadeen, Koniferen wie *Araucaria*, *Sequoia*, *Gingko*) sind herrschend.

Die Fauna wird auf 750 000 Arten geschätzt, von denen kaum 10 000 bekannt sind. Die Ammoniten, Belemniten und Reptilien erreichen die Höhe ihrer Entwicklung. Radiolarien bilden vielfach kieselige Gesteine. Spongien und Korallen sind riffbildend und Krinoiden (Fig. 147) bauen Kalke auf. Die Seeigel (Fig. 148) erscheinen formen-

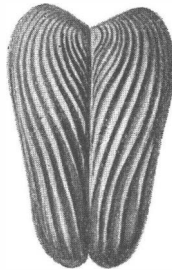


Fig. 154 *Aptychus euglyphus* Oppel,
Deckel eines Ammonitengehäuses



Fig. 155 *Belemnites hastatus* Blainv.,
 $\frac{2}{3}$ mal

reich meist bilateral symmetrisch, von Brachiopoden sind weiter die Terebrateln und Rhynchonellen wichtig. Die Muscheln zeigen große Mannigfaltigkeit besonders in großen Austern (Fig. 149, 150), Trigonien (Fig. 151), die ersten dickschaligen, ungleichklappigen Rudisten (*Diceras*) (Fig. 152) erscheinen und auch die Gastropoden liefern gesteinsbildende Gattungen wie *Nerinea*. Eine ganz neue Gesellschaft von Ammoniten unbekannter Herkunft erscheint, die in den drei Unterteilungen großenteils verschieden sind (Fig. 153, 154). Die Belemniten (Fig. 155) bis 3 m Körperlänge erreichend, sind wichtige Leitfossilien. Von ihnen ist

aber meist nur das Rostrum erhalten. Tintenfische und langschwänzige Krebse sind zum Teil wunderbar konserviert. Die Insekten verraten im Lias eine Abnahme der Temperatur und sind besonders im lithographischen Schiefer von Solnhofen mit hundert Arten in 72 Gattungen, wie Libellen, Heuschrecken, Schaben und Käfer erhalten.

Unter den 300 Fischformen sind Haie und Rochen wichtig und die ersten Knochenfische. Es erscheinen die ersten Frösche. Bis 12 m lange Ichthyosaurier und *Plesiosaurus* beherrschen das Meer. Schildkröten, Meereskrokodile und Flugsaurier nehmen überhand. Die Dinosaurier erreichen ihre Blütezeit an der Wende von Jura und Kreide. Neben nur 60 cm langen Formen hat man in Nordamerika, Deutschostafrika und Zentralasien die Riesen *Diplodocus* (bis 35 m lang), *Brontosaurus*, *Atlantosaurus* und den größten von allen *Brachiosaurus* (Oberschenkel und Oberarm über 2 m lang) getroffen. Phylogenetisch wichtig sind die seltenen Reste des Urvogels *Archaeopteryx*. Von Säugetieren kennt man nur niedrig organisierte Beuteltiere.

Man hat im Jura fünf marine Reiche unterschieden: Das boreale, das mediterran-kaukasische, das himmalaische bis Madagaskar und Neuseeland, das japanische und das südandine. Diese Gebiete haben aber wohl keine tiergeographische Bedeutung, da die Ammoniten nach ihrem Tode (nekroplanktonisch¹) verfrachtet worden sind.

Die Schichtfolge ist nur 1000 m stark. Organogene Kalke besitzen die größte Bedeutung. Riffe mit einer reichen Fauna sind weit verbreitet. In vielen Kalken sind die Schalen der Cephalopoden aufgelöst und nur die Deckelklappen erhalten. Kieselige Kalke und Radiolarite sind häufig. Kohlen sind im Lias über Europa und Asien weit verbreitet.

In Deutschland ist die überaus fossilreiche, ungestörte Schichtfolge abwechslungsreicher Seichtwasserbildungen in der schwäbischen und fränkischen Fazies der Ausgangspunkt der Zonengliederung gewesen. Die reiche Fauna umfaßt neben Ammoniten, Bivalven, Schnecken, Brachiopoden, Seelilien, Fische und Reptilien. Im Lias ist besonders der Fundort Holzmaden berühmt, wo die schwarzen Schiefer Meeresreptilien und Fische in vortrefflicher Erhaltung, die Ichthyosaurier zum Teil mit Hautbekleidung geliefert haben. Im Malm ist Riffbildung mit reicher Fauna häufig und in Plattenkalken, die in Lagunen abgelagert worden sind, ist bei Solnhofen in Franken eine 600 Arten umfassende Fauna gefunden worden, die Medusen, Seesterne, Seelilien, Krebse, Insekten, Belemniten, Tintenfische, Ammoniten, Fische, Eidechsen, Krokodile und andere Meeresreptilien, Flugsaurier, kleine Dinosaurier, *Archaeopteryx* und zahlreiche Pflanzenreste geliefert hat. Die Erhaltung der zarten Organismen geht in dem überaus feinkörnigen Material bis in die Einzelheiten. Die deutsche Ausbildung des Jura reicht bis Frankreich, England und Spanien. Gegen Schluß der Periode traten in dem Gebiete zum Teil brackische Verhältnisse ein. Die boreale Region reicht über Rußland bis Mitteleuropa und Mexiko nach Süden.

In den Schweizer- und Ostalpen tritt der Jura gegenüber der mächtigen Entwicklung der Trias zurück und zeigt lückenhafte, stark gestörte, meist vereinzelte Vorkommen. Dem Lias gehören an die roten, tonigen, cephalopodenreichen

¹ Nekros, gr., tot, plazesthai, gr., verschlagen werden, auf dem Wasser treiben; Nekroplankton, nach dem Tode im Wasser schwebend verfrachtete Organismen.

Adneterkalke, die weißen und roten Hierlatzkalke mit Krinoiden, kleinen Brachiopoden und Mollusken, die oft auf einem Erosionsrelief des Dachsteinkalkes liegen, endlich graue Mergelkalke mit dunklen Flecken (Lias-Fleckenmergel) und sandig-schieferige Grestenerschichten mit Pflanzen und Kohlen. Im Dogger und Malm treten rote und graue Kalke mit Hornsteinen, zum Teil dichte Aptychenkalke und gegen oben weiße Korallenkalke überwiegend auf. Die alpine Ausbildung findet sich im ganzen Mittelmeere, Südasien und rings um den Pazifischen Ozean mit vielen europäischen Fossilformen, die oft noch die Zonenfolge erkennen lassen.

3. Kreideformation

Die Kreideformation hat ihren Namen von dem Auftreten der Schreibkreide in England, Frankreich und Deutschland erhalten. Die Ausdehnung der Kontinente nimmt besonders in Nordeuropa und Asien zu. Das Nordatlantische Festland reichte noch bis Westeuropa. Das europäisch-asiatische Mittelmeer prägt sich deutlich aus. Die seit langen Perioden trocken liegende afrikanische Wüstentafel wird in der mittleren Kreide überflutet und auch sonst dehnt sich diese Transgression über alte Festlandsgebiete, wie z. B. über die Böhmisches Masse aus. Die in den Geosynklinalen des europäisch-asiatischen Mittelmeeres und des zirkumpazifischen Gebietes aufgehäuften Sedimentmassen werden nun über die ganze Erde hin stark gefaltet und diese Störungen dauern bis in die mittlere Tertiärzeit an (Alpine Faltung). In Verbindung damit treten vielfach Intrusionen granitischer und syenitischer Gesteine auf. Deckenergüsse von Basalt finden sich im arktischen Gebiete und in Dekhan (hier über 300 000 km² verbreitet und 2000 m mächtig).

In der Unterkreide besitzt die Flora, aus Cycadophyten, Koniferen und Farnen bestehend, einen altertümlichen Charakter. In der Oberkreide erscheinen die ersten Blütenpflanzen, besonders die Laubbölzer, die ein neues Gepräge verleihen, wie Buche, Weide, Eiche, Pappel, Lorbeer, Zimtbaum, Ahorn, Eukalyptus, Haselnuß, Platane u. a. Damit ist die heutige Flora in ihren Grundzügen geschaffen und erobert nun die ganze Erde.

Die Kreidefauna zeigt geringe Schöpfungskraft, mehr Degenerationserscheinungen, Riesenwuchs und andere Abnormitäten, ein Zeichen des Alterns ganzer Gruppen, wie bei den Sauriern, Ammoniten und Belemniten und manchen Muschelschalen (Hypertrophie der Rudisten).

Die Foraminiferen treten oft massenhaft auf, wie *Orbitolina*, *Orbitoides*, *Globigerina*, *Textularia* u. a., die die Schreibkreide größtenteils aufbauen. Die Kalk- und Kieselschwämme haben ihre Blütezeit. Die Korallen (Fig. 156), *Astraeidae*, Fungiden u. a., bilden im mediterran-äquatorialen Gebiete Riffe in ähnlicher Verbreitung wie die Rudisten. Die Echiniden (Fig. 157) nehmen einen großen Aufschwung und sind wichtige Leitfossilien. Bryozoen bilden Kalkmassen, dickschalige Austern finden sich in ganzen Bänken. Die Inoceramen (Fig. 158) sind

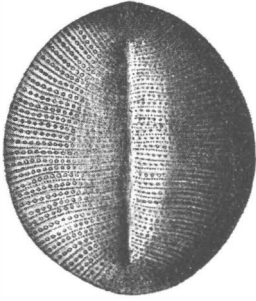


Fig. 156 *Cyclolites macrostoma* Rss.,
eine Koralle

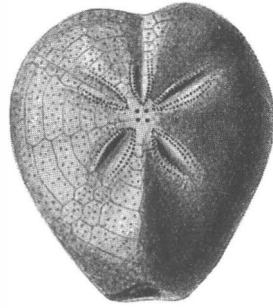


Fig. 157 *Micraster breviporus*
d'Orb., $\frac{3}{4}$ mal

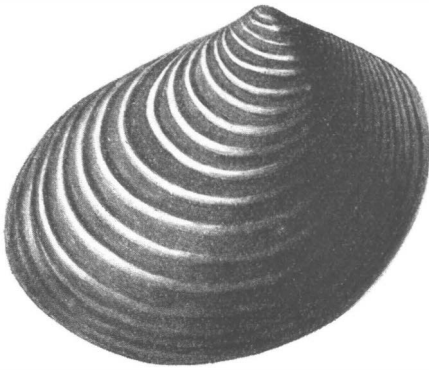


Fig. 158 *Inoceramus Lamarcki* Park.,
 $\frac{1}{2}$ mal

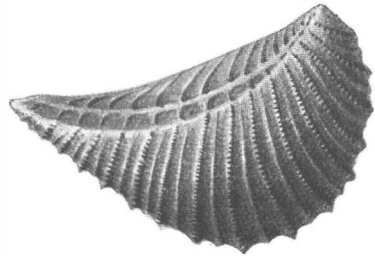


Fig. 159 *Trigonia caudata* Ag.,
 $\frac{1}{2}$ mal



Fig. 160 *Hippurites radiosus* Desm.,
Unterklappe, $\frac{1}{3}$ mal



Fig. 161 *Hippurites radiosus* Desm.,
Oberklappe, $\frac{1}{3}$ mal

die größten bekannten Muscheln. Sie werden meterlang und sind über die ganze Erde verbreitet. *Trigonia* (Fig. 159) ist ein wichtiges Leitfossil und die oft riesigen, dickschaligen, dütenförmigen oder widerhornartig gedrehten, stark ungleichklappigen Rudisten (Fig. 160, 161) (*Hippurites*, *Radiolites*, *Requienia* u. a.) nehmen an der Bildung von Kalkmassen großen Anteil. Unter den Gastropoden sind *Nerinea*, *Actaeonella* (Fig. 162) u. a. gesteinsbildend. Die Ammoniten erscheinen in großer Mannigfaltigkeit neuer Gattungen und sind die wichtigsten Leitformen (Fig. 163). Ihr Aussterben am Ende der Periode ist eines der größten Rätsel der paläontologischen Forschung. *Phylloceras* und *Lytoceras* leben weiter. Es tritt eine Vereinfachung der Lobenlinie zum ceratitischen Stadium bisweilen auf. Dies ist eine Degenerationserschei-

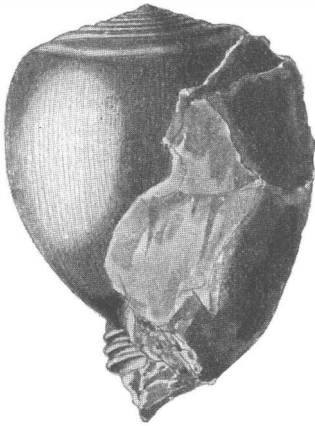


Fig. 162 *Actaeonella gigantea*
d'Orb., $\frac{2}{3}$ mal

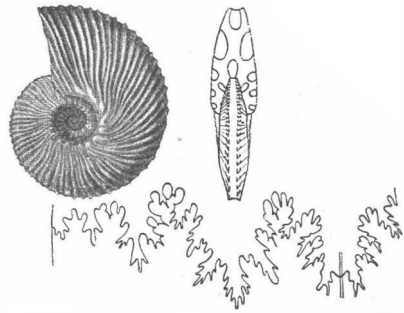


Fig. 163 *Neocomites neocomiensis* d'Orb.,
 $\frac{1}{2}$ mal, mit Queransicht und vergrößerter Lobenlinie

nung, wie auch die sogenannten Nebenformen, lose Spiralen, turm- oder hakenförmige, gerade gestreckte, unregelmäßig gebogene Schalen und andere (Fig. 164). Auch die Belemniten (Fig. 165) sind reich vertreten, aber nur wenige Formen setzen sich in die Tertiärzeit fort. Mit den Blütenpflanzen erscheinen zahlreiche neue Insekten.

Die Knochenfische nehmen überhand und man kennt an einzelnen Fundorten reiche Faunen. Es erscheinen die ersten Schlangen, die riesigen, bis 20 m langen Mosasaurier, aber die vier- und zweifüßigen Dinosaurier besitzen später nicht mehr die reiche Entwicklung wie sie bei Beginn der Periode aufgewiesen haben. Zum Schlusse der Kreidezeit beginnt ein großes Tiersterben, das gerade die herrschenden Formen des Wassers und des Landes erfaßt. Von den Reptilien retten sich nur die Eidechsen, Krokodile, Schlangen, Schildkröten und die Rhynchocephalen, deren letzter Nachkomme die Brückenechse von Neuseeland ist, in das Tertiär und in die Gegenwart. Es erscheinen Vögel mit behaarten Kiefern und anderen Reptilmerkmalen. Die Säugetiere gehören nur kleinen, primitiven Gruppen an.

Es lassen sich deutlich die boreale Region mit Inoceramen und Belemniten und das mediterran-äquatoriale Gebiet mit großen Foraminiferen, Korallen, Krinoiden, Rudisten und bezeichnenden Ammoniten erkennen. Das Klima war noch, was reiche Floren in Grönland bezeugen, in hohen Breiten subtropisch. Aber an der Verbreitung der Pflanzen, besonders der Hölzer mit und ohne Jahresringe, zeigen sich klimatische Zonen.

Die Schichtfolge ist nur etwa 3500 m mächtig. Es spielen Seichtwasserbildungen von Deltas und lagunäre zu Beginn und zum Schlusse der Formation eine große Rolle und brackische, zum Teil kohlenführende Schichten sind weit verbreitet. In den warmen Meeren finden sich Riffkalke von Algen, Korallen,

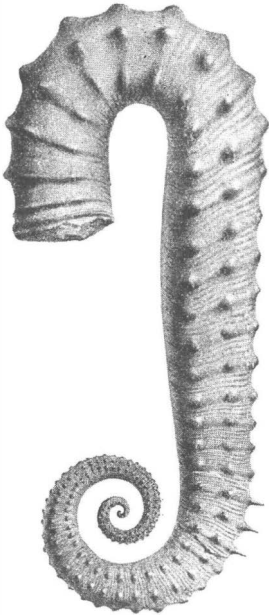


Fig. 164 *Ancyloceras Matheroni* d'Orb.,
 $\frac{1}{5}$ mal (nach A. d'Orbigny)



Fig. 165 *Belemnitella mucronata*
d'Orb., $\frac{3}{4}$ mal

Bryozoen und Rudisten. Die Schreibkreide, aus feinstem Kalkschlamm und Foraminiferen bestehend, ist eine Bildung geringer Wassertiefe der gemäßigten Zone.

Wir kennen noch nicht die Ursachen, die am Ende der Periode die herrschenden Formen der Tierwelt des festen Landes und des Meeres vernichtet haben. Ammoniten, Rudisten, Inoceramen, Nerineen, Actaeonellen, viele Korallen, Echinodermen, Brachiopoden, die gerade durch ihre Häufigkeit die charakteristischen Lebeformen gewesen sind, die Ichthyosaurier, Mosasaurier, *Plesiosaurus*, die Dinosaurier, Flugsaurier, Zahnvögel und die primitivsten Säugetiere sterben so plötzlich und fast so restlos aus, daß wir dafür noch keine befriedigende Erklärung gefunden haben. Die Schuld kann nicht allein in dem Rückzuge des Meeres am Schlusse der Kreidezeit, noch in den tiefgreifenden klimatischen Veränderungen oder in dem Auftreten der warmblütigen Säugetiere gelegen haben. Sicher war das rasche Aufblühen der höheren Pflanzen und Säugetiere von großem

Einflüsse und das Auftreten der mit ihnen erscheinenden zahlreichen saugenden und stechenden Insekten. Die Grenzen der Kreide fallen größtenteils mit Schwankungen des Meeres zusammen, mit weit verbreiteten brackischen und kontinentalen Bildungen. Die Formation wird meist in eine untere und obere Abteilung gegliedert, die in zahlreiche Stufen und Zonen zerfallen.

Zuunterst liegen in Nordwestdeutschland, Belgien und Südengland ausgedehnte Deltabildungen (Weald, Wälderformation) mit reichen Fundplätzen von Pflanzen und Dinosauriern und dann greift das Meer allmählich von Süden über die nordeuropäische Provinz, Südengland, Frankreich, die Schweiz und Deutschland bis Südschweden und Polen, wo überaus fossilreiche Kalke, Mergel, Tone, Grünsande und Sandsteine abgelagert wurden. Eine charakteristische Bildung ist der helle, massige Quadersandstein, der vertikal zerklüftet, die pittoresken Erosionsformen im Adersbacher Felsenlabyrinth und im Elbesandsteingebirge bildet. In den Alpen ist die Kreide größtenteils als Kalke und Mergel entwickelt und weiße Aptychenkalke, rote schieferige Kalke und harte, wild zerschnittene Schrackenkalke bauen mit Konglomeraten, Sandsteinen, Mergeln und bituminösen Schiefen mit Kohlen die Schichtfolge auf. Diese letztgenannten klastischen Gesteine sind besonders in der sogenannten Gosauformation vertreten, die diskordant auf einem älteren Relief liegt, anscheinend teilweise überschoben ist und eine reiche Fauna von Korallen, dicken schaligen Schnecken, Hippuriten usw. führt.

In den Voralpen und in den Vorbergen fast aller junger Hochgebirge bis nach Hinterindien, in den Kordillern und auch anderwärts treten mächtige Sandsteine und Mergel mit seltenen Fossilresten auf, deren Schichtflächen mit den Lebensspuren niederer Tiere bedeckt sind. Die Bildung dieser Flyschgesteine reicht bis in das Alttertiär und ist in seichtem Wasser am Fuße der in Auffaltung begriffenen Gebirgsketten rasch erfolgt. Die in den Alpen und im Mittelmeergebiet herrschende Ausbildung der Kreideformation findet sich ähnlich im Bereiche der Geosynklinalen weltweit verbreitet.

IV. Känozoische Formationsgruppe

An der Grenze gegen das Känozoikum vollzieht sich die größte Veränderung in den physikalischen und faunistischen Verhältnissen. Der Rückzug des Meeres bedingt eine beträchtliche Erweiterung der Festländer und nur geringe Transgressionen, wie auf der afrikanischen Tafel, erfolgen. Die Faltungen nehmen ihren Fortgang. Im Alttertiär werden die jungen Gebirge der südeuropäisch-asiatischen Zone und des Kreises um den Stillen Ozean vollendet. Besonders in den Alpen haben große Bewegungen, vor allem Überschiebungen stattgefunden.

Das europäische Mittelmeer und die süd- und ostasiatischen und mittelamerikanischen Randmeere bilden sich aus. Europa war bisweilen noch in Verbindung mit Nordamerika (Atlantis) und über die Behringstraße bestand eine Verbindung, ebenso vorübergehend zwischen Nord- und Südamerika und von da zur Antarktis. Diese war wohl auch mit Südafrika, vielleicht nur durch eine Inselreihe, verbunden. Australien, Neu-Guinea und Neuseeland waren von nun an getrennt und ihre Fauna blieb mit den altertümlichen Zügen (ohne höhere Säugetiere) erhalten. Alle diese Verbindungen sind zum Teil durch Hebungen in den Geosynklinalen oder geringe Aufwölbungen des Meeresbodens von wenig über 1000 m hergestellt gewesen.

Nach einer Überflutung im unteren Tertiär (Eozän) zieht sich das Meer von den Festländern zurück. Die Becken der heutigen großen Flußsysteme werden allmählich vom Meere verlassen und von Seen eingenommen. Sie sind die Tertiärbecken, wo diese jungen Bildungen reich entwickelt zutage liegen. Es sind also die Hauptformen des Reliefs in vielen Gebieten im Känozoikum geschaffen worden, so die Hochgebirge und die jungen Tieflandsbecken.

Die untere Grenze des Tertiär ist durch das Erscheinen der typischen Foraminiferen *Nummulites* und *Operculina* und der placentalen Säugetiere gegeben. Die Schichtfolge ist etwa 13000 m mächtig, aber wegen vorherrschend grobklastischer Bildungen in verhältnismäßig kurzer Zeit abgelagert. Die Sedimente sind wenig verändert, oft kaum verfestigt und lassen die Ablagerungsbedingungen leicht erkennen. Dies und die treffliche Erhaltung der Fossilien machen die Formation zur Vorschule für jeden Geologen. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichten ist gering, nur aus der älteren Zeit stammen in den Geosynklinalen über 1000 m mächtige Schichtglieder, die in sich senkenden Becken abgelagert wurden.

Die Schichten sind nur in den jungen Faltengebirgen gestört, die jüngeren meist nur gehoben. Es sind durchwegs Bildungen seichten Wassers, klastische Gesteine und Kalke, häufig sind brackische und kontinentale der Seen, der Flüsse, des Windes und in der jüngsten Vorzeit auch der Vereisung. Gips, Steinsalz, Kalisalze, Süßwasserkalke und Braunkohlen sind häufig.

Es tritt eine Steigerung der vulkanischen Tätigkeit ein. Wohlerhaltene Eruptionszentren finden sich weit verbreitet und mächtige Lavadecken sind im Bereiche des nördlichen Atlantischen Ozeans von Irland und den Hebriden über die Faröer, Island und Grönland zusammenhängend gewesen. Sie bedecken im Nordwesten der Vereinigten Staaten und in Dekhan ausgedehnte Landstriche. Die Eruptivgesteine sind die gleichen wie heute, Basalte, Andesite, Trachyte, Rhyolithe und deren Tuffe.

Das Klima war anfangs noch über die ganze Erde mild. Bis zum 82.^o nörd. Br. treten Taxodien, Platanen und andere Bäume auf, während heute die Baumgrenze bis zu 22^o südlicher liegt. In Mitteleuropa herrschte tropisches Klima mit Palmen. Dann zieht sich die warme Flora südwärts zurück und am Ende des Tertiärs herrschte ein Klima ähnlich dem heutigen. Dann folgte die Kältezeit des Quartär. Die Klimazonen und Florenggebiete bildeten sich im Tertiär aus.

Die Entwicklung der Säugetiere vollzieht sich rasch in dieser kurzen Spanne Zeit. Sie geben der ganzen Formation das charakteristische Gepräge. Die Flora besteht vorwiegend aus Dicotylen und Monocotylen und erreicht mit den sommergrünen Laubhölzern die Höhe ihrer Entwicklung. Das gemäßigte Klima bedingte die Bildung von Kohlenlagern, an denen neben Sumpfpflanzen, besonders *Sequoia* und *Taxodium* Anteil haben. Kalkalgen, besonders Lithothamnien sind als Kalkbildner von großer Bedeutung.

Unter den Foraminiferen spielen die bis talergroßen vielkammerigen Nummuliten, die Alveolinen und Miliolideen eine Rolle als Gesteinsbildner. Korallenriffe treten nur mehr in der wärmeren gemäßigten Zone auf und ziehen sich in der mittleren Tertiärzeit auf ihre heutige Verbreitung zurück. Die Seeigel und Bryozoen (riffbildend) sind reich vertreten, die Muscheln und Schnecken zeigen in ihrer Mannigfaltigkeit eine Hochentwicklung. Die Insekten

weisen schon die heutigen Züge auf und konnten sich in zarten Schiefeln, Bernstein usw. gut erhalten. Aber die niedrigen Tiere verlieren gegenüber den Wirbeltieren sehr an Bedeutung für die Paläontologie und Abstammungslehre.

Unter den Fischen sind Haifische, Knochenfische und Ganoiden herrschend, ihre Reste aber bis auf wenige reiche Fundplätze (z. B. Monte Bolca in Oberitalien) sehr spärlich. Es werden meist nur die Zähne gefunden. Unter den Amphibien sind Salamander und Frösche, unter den Reptilien Eidechsen, Schlangen, Schildkröten und Krokodile vertreten. Der heute nur mehr vereinzelt Nachkomme der Rhynchocephalen, *Sphenodon*, die Brückenechse auf einer kleinen Insel bei Neuseeland, hatte noch ein paar Genossen im unteren Tertiär. Unter den Vögeln sind riesige, flugunfähige, straußähnliche Laufvögel bemerkenswert, wie die Moas (*Dinornis* u. a.) von Neuseeland, *Aepiornis* von Madagaskar, *Dromaeus* und Verwandte in Australien und *Rhea* in Südamerika u. a., die zum Teil über die Alte Welt weit verbreitet sind.

Im Untertertiär erscheinen schon alle heute lebenden Ordnungen und Unterordnungen der höheren Säugetiere und eine Anzahl heute ausgestorbener. Damals lebten fast durchwegs primitive Kollektivtypen, sogenannte Stammformen, die die Merkmale verschiedener Gruppen vereinten. Es zeigt sich, daß die ursprünglich meist kleineren Formen an Größe zunehmen und im Quartär das größte Wachstum erreichen. Die Fleischfresser (Carnivoren) entwickeln sich mit zum Teil merkwürdigen Formen, wie der Säbeltiger (*Machairodus*) mit übergroßen Fangzähnen im Oberkiefer. Dann gibt es riesige Zahnwale, große Faultiere, besonders in Südamerika (*Megatherium*, 4 m lang) und Riesengürteltiere, ebendort, unter anderen *Glyptodon*, 3 m lang. Die Entwicklung der Huftiere ist durch zahlreiche prächtige Funde gut bekannt geworden. Besonders die Equiden liefern die vollständigste Stammesreihe, die man kennt. Sie haben sich von windspielgroßen, fünfzehigen Formen durch Reduzierung der Zahl der Zehen und Zunahme an Größe bis zum heutigen Pferde entwickelt. Eine wichtige Gattung ist das dreizehige *Hipparion* des Pliozän. Auch die Kamele haben einen guten Stammbaum geliefert. Schweineähnliche Tiere (*Anthracotherium*) und die bis Elefantengröße erreichenden Titanotherien und die 4 m langen Dinoceraten sind bemerkenswert. Die Stammesgeschichte der Elephantiden ist gut bekannt. Zu ihnen gehören im Jungtertiär die auch in unseren Gegenden häufigeren Dinotherien, Mastodonten und im Quartär die Riesenelephanten, wie Mammut. Von größter Bedeutung sind aber die Primaten. Halbaffenähnliche Formen kennt man aus dem Alttertiär Nordamerikas und Europas, die echten Halbaffen (Lemuriden) nur aus Madagaskar. Die Anthropoiden erscheinen im Alttertiär Ägyptens, im Mitteltertiär Europas und nachher in Südamerika und Asien. Eine große Literatur beschäftigt sich mit der Stellung einiger als Verbindungs-

glied zwischen Mensch und Affen angesprochener Funde, die aber stets einwandfrei zu einer der beiden Gruppen zu stellen sind. Es klafft noch immer die weite Kluft zwischen den ältesten Menschenrassen und den menschenähnlichen Affen.

Man hat auf Grund der Entwicklung der Tierwelt einen viel feinfühligere Maßstab gewonnen, als es früher mit den niederen Tieren möglich gewesen ist. Es lassen sich nun auch tiergeographische Provinzen unterscheiden. Die Nordkontinente sind die Heimat der plazentalen Säugetiere, die der Südhalbkugel der Beuteltiere, Edentaten, Laufvögel, Pinguine und mancher ausgestorbener Gruppen. Es läßt sich zum Teil genau feststellen, welche Verbindungen zwischen den einzelnen Festländern zu den verschiedenen Zeiten bestanden haben. Die Tierwelt besaß einen größeren Formenreichtum als heute. Es läßt sich erkennen, daß um den Höhepunkt ihrer Entwicklung oder knapp vor ihrem Niedergange viele Formen ein Riesenwachstum aufweisen.

Die zeitliche Nähe und die Fülle des Beobachtungsmaterials erfordern in dieser Ära eine eingehendere stratigraphische Gliederung, die durch die lithologische Mannigfaltigkeit ermöglicht wird. Aber die meist nur lokale Ausbildung von Ablagerungen und Faunen und die faziellen Unterschiede erschweren die Gliederung einer lokalen Schichtfolge und deren Vergleich mit entfernteren Vorkommen.

Das Känozoikum wird in zwei verschieden lange Perioden geteilt: Das Tertiär und das Quartär (Diluvium und Alluvium)¹. Deren Zeitdauer dürfte sich wie 600 zu 60 zu 1 verhalten und die ganze Ära 3 bis 4 Millionen Jahre gedauert haben.

1. Tertiärformation

Der Name stammt von der altitalienischen Bezeichnung Monti terziarii, die die dritte, jüngste Folge von Ablagerungen bezeichneten. Es ist nachstehende Einteilung in allgemeinem Gebrauche:

Jungtertiär (Neogen)	{	Pliozän
		Miozän
Alttertiär (Paläogen)	{	Oligozän
		Eozän
		Paleozän

Die uns so nahe liegende Periode gestattet die Dauer ihrer Abschnitte wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit nach Jahren zu schätzen und zwar sollen seit Beginn der einzelnen Epochen verflossen sein: Beim Eozän 2 bis 4, Oligozän 1,2 bis 3, Miozän 0,8 bis 1,8, Pliozän 0,5 bis 0,9, Quartär 0,2 bis 0,4 Millionen Jahre. Die Mächtigkeit der Schichten beträgt im Paleozän und Eozän bis 4000 m, im Oligozän bis 4000 m, im Miozän bis 3000 m und im Pliozän bis 1700 m. Sie bestehen grobenteils aus sedimentären Ablagerungen und sind verhältnismäßig rasch gebildet worden. Nur in den jungen Hochketten ist besonders das ältere Tertiär gefaltet, das jüngere meist nur gehoben. Man kennt Eozän in 5000 m, Miozän in 2400 m und Pliozän in 1800 m Höhe.

In den Alpen hat die zweite Hauptbewegung mit großen Überschiebungen im Untertertiär stattgefunden und dann ist im Obertertiär eine starke Abtragung erfolgt und erst zum Schlusse dieser Formation das Land zu einem Hochgebirge

¹ Alluvio, lat., Anschwemmung.

gehoben worden. Eine rege vulkanische Tätigkeit macht sich über die ganze Erde geltend und steht im Zusammenhange mit Bruchlinien, die wiederum an vielen Punkten in Verbindung mit gebirgsbildenden Vorgängen auftreten.

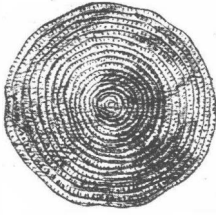


Fig. 166 *Nummulites laevigatus* Lam.

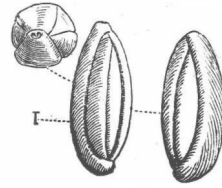


Fig. 167 *Quinqueloculina*, 10 mal, von beiden Seiten und von oben gesehen.

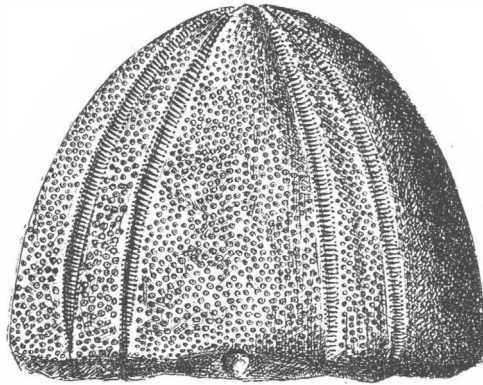


Fig. 168 *Conoclypeus conoideus* Goldf., ein Seeigel, $\frac{1}{2}$ mal

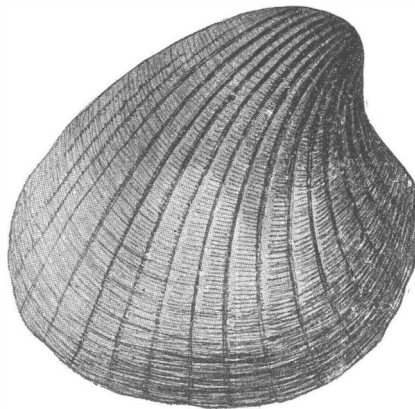


Fig. 169 *Cardita planicosta* Lam., $\frac{2}{3}$ mal

Das Alttertiär ist durch große, vielkammerige, gesteinsbildende Foraminiferen (Fig. 166, 167), wie *Nummulites*, *Alveolites*, *Orbitolites* u. a. charakterisiert und besonders die Muscheln und Schnecken liefern die

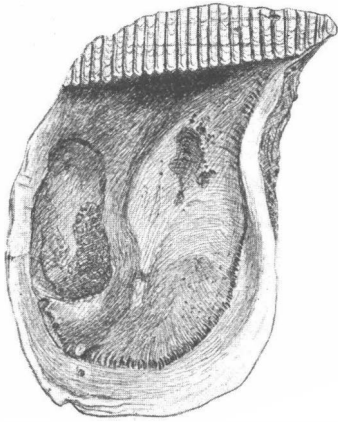


Fig. 170 *Perna Soldani* Desh., $\frac{1}{2}$ mal

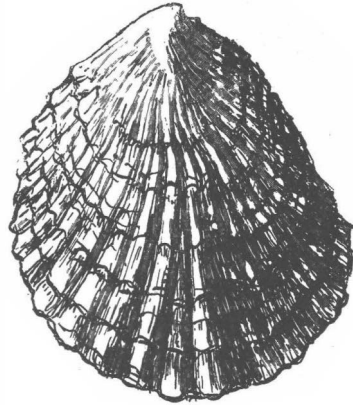


Fig. 171 *Ostrea ventilabrum* Goldf.

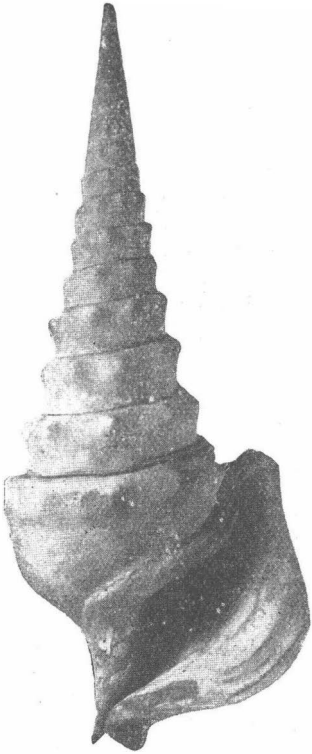


Fig. 173 *Cerithium giganteum* Lam.,
 $\frac{1}{3}$ mal

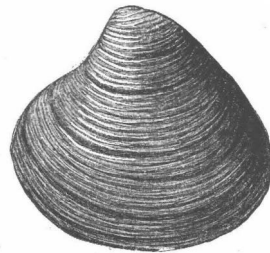


Fig. 172 *Cyrena semistriata* Desh.



Fig. 174 *Terebellum convolutum* Lam.

wertvollsten Leitformen (Fig. 169 bis 176) für die marinen Ablagerungen. Die Säugetiere weisen einige Ordnungen und Familien auf, die auf diese Epoche beschränkt sind (Fig. 177).

Im Eozän greift die einzige größere Transgression über die Festländer, besonders den atlantischen Kontinent und die großen Tiefländer,

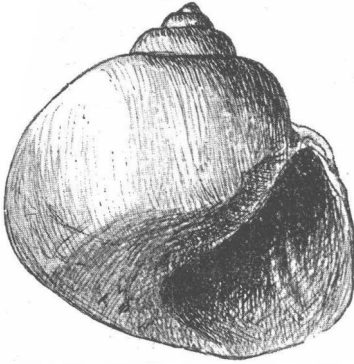


Fig. 175 *Natica crassatina* Desh.,
 $\frac{1}{2}$ mal

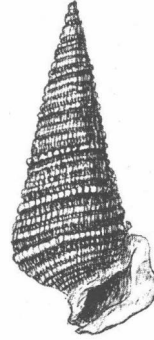


Fig. 176 *Cerithium margaritaceum*
Brong.

vor allem im Bereiche der südeuropäischen und südasiatischen Geosynklinale waren überflutet. Im Oligozän zog sich das Meer zurück und diese

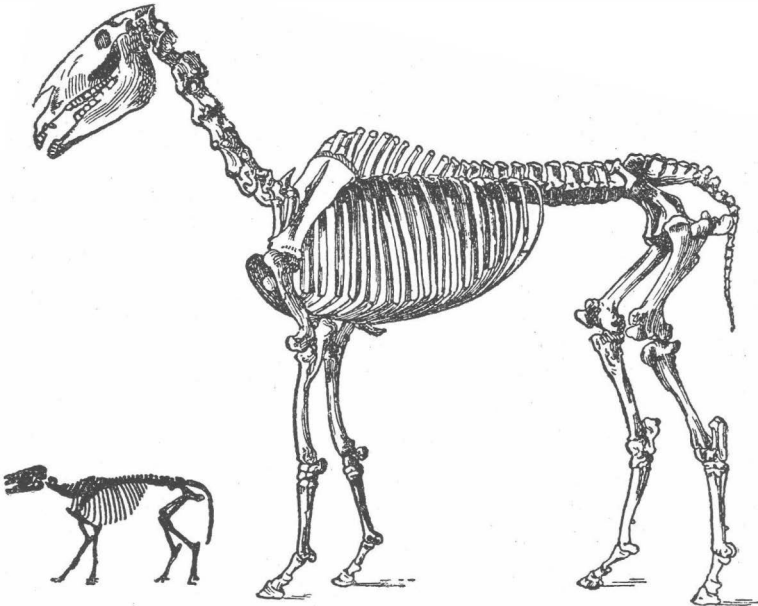


Fig. 177 *Eohippus*, ein kleiner, vierzehiger Ahne des Pferdes und *Equus* (nach F. A. Lucas), zirka $\frac{1}{25}$

Zeit ist durch weitgehende Erosion und Süßwasserseen mit Kohlebildung gekennzeichnet. Der Gegensatz des nordischen Meeres gegenüber dem Mittelmeere bestand weiter. Es ist gekennzeichnet durch ab-

wechslungsreiche, klastische, in seichtem Wasser wenig mächtig abgelagerte, fossilreiche Bildungen, die von Südengland über Nordfrankreich, Belgien und das südbaltische Gebiet bis nach Pommern verbreitet sind. Besonders das Londoner und das Pariser Becken sind grundlegend für die Kenntnis dieser Ablagerungen geworden. Eine überaus reiche, zum Teil tropische Konchylienfauna lebte in diesem in den Sanden und Tonen und brackische Bildungen mit Gipsen und Süßwasserkalke sind eingeschaltet. Eines der wichtigsten Schichtglieder ist der Grobkalk von Paris, der Baustein dieser Stadt, mit reicher Fauna. Als Fundort einer wichtigen Säugetierfauna ist der Gips des Montmartre bemerkenswert.

Im ostbaltischen Gebiete herrschte Festlandsbildung mit Wäldern von Kiefern und Fichte (*Pinus succinifera* und *Picea Engleri*), deren Harz, der Bernstein, zahlreiche Pflanzenreste, darunter von Palmen, etwa 2000 Insektenarten, Vogelfedern und Haare von Säugetieren u. a. eingeschlossen hat. Der Bernstein wird aber auf sekundärer Lagerstätte in der oligozänen blauen Erde des Samlandes gefunden.

Im Oligozän drang das Meer in Norddeutschland, während es sich sonst fast überall zurückzog, in das sich senkende Becken ein, das bis an den Ural reichte. Es sind Sande und Tone mit reicher, auf gemäßigt warmes Klima deutenden Fauna. Einzelne Becken waren brackisch oder Süßwasserseen. Gips, Steinsalz und Kalisalze wurden in abdampfenden Endseen abgelagert, Erdöl und Asphalt sind in dieser Stufe weit verbreitet. Besonders Braunkohlen sind an vielen Orten, wie in Sachsen und bei Bonn in einer Mächtigkeit bis zu 100, ja selbst 150 m angehäuft, von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Sie finden sich auch in anderen Ländern, wie in Böhmen, Ungarn usw. Am Fuße der noch in Bildung begriffenen Alpen und Karpathen wurden im Alttertiär vorherrschend Flyschsandstein und -mergel lokal auch fossilreiche Kalke abgelagert und im Oligozän werden in dem sinkenden Becken des Vorlandes die unter dem Namen Molasse zusammengefaßten marinen, brackischen oder Süßwasserschichten (Tone, Mergel, Sande und Sandsteine) aufgehäuft. Im Paris-Londoner-Becken dehnten sich meist brackische und Süßwasserseen aus.

Im Mittelmeergebiete herrschten im Alttertiär organogene, kalkige Bildungen, zum Teil Sandsteine und Schiefer vor, die durch Druck verfestigt sind. Korallenriffe, Nummulitenkalke sowie eine reichverzierte Konchylienfauna zeigen tropische Verhältnisse an. Die Nummulitenkalke begleiten von den Pyrenäen an den Außen- und Innenrand der Alpen und Karpathen und lassen sich von Südspanien und dem Atlas über die Sahara und Arabien in den jungen Hochgebirgen bis in den Himalaya, die hinterindischen Ketten, in die Sundainseln und Philippinen verfolgen und man trifft sie an der Ost- und Westküste Afrikas wieder. Im Bereiche der Ostalpen herrscht fast ausschließlich die Flyschfazies (Wiener Sandstein), nur gelegentlich treten fossilreiche Kalke, Mergel und Sandsteine in Erosionsresten erhalten auf. Faziell und

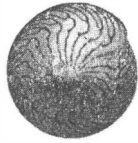


Fig. 178 a *Amphistegina Hauerina*
d'Orb., 6 mal



Fig. 178 b Dieselbe, von der
Seite gesehen.

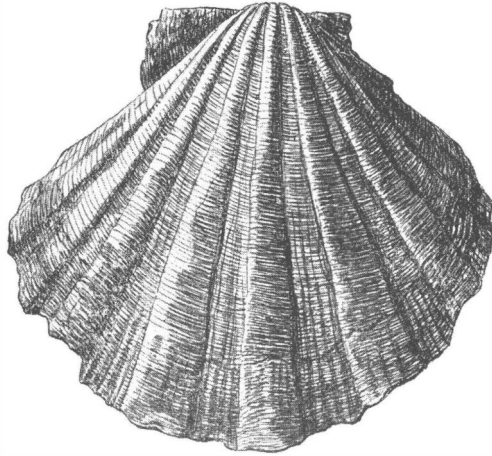


Fig. 179 *Pecten latissimus Brocc.*, $\frac{1}{2}$ mal

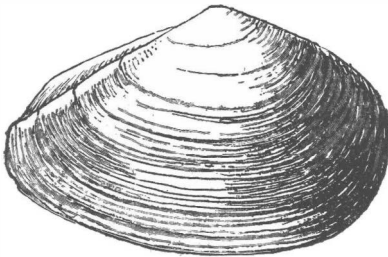


Fig. 180 *Tellina planata L.*



Fig. 181 *Arca diluvii Lam.*



Fig. 182 *Lucina columbella Lam.*
Schaffer, Grundzüge der Geologie



Fig. 183 *Tapes Basteroti May.*, $\frac{3}{4}$ mal

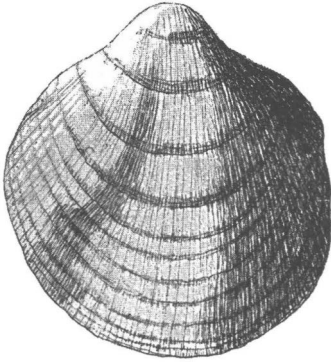


Fig. 184 *Pectunculus pilosus* L.,
 $\frac{2}{3}$ mal

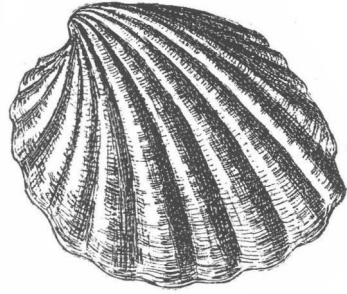


Fig. 185 *Cardita Jouanneti* Bast.

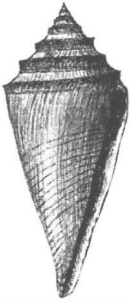


Fig. 186 *Conus Dujardini* Desh.



Fig. 187 *Ancillaria glandiformis* Lam.

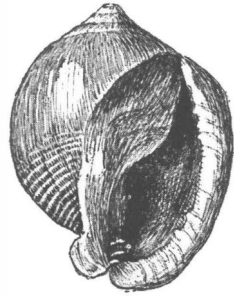


Fig. 188 *Cassis saburon* Lam.



Fig. 189 *Terebra acuminata* Bors.

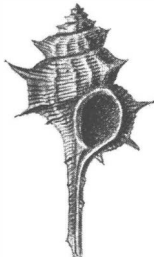


Fig. 190 *Murex spinicosta* Bronn

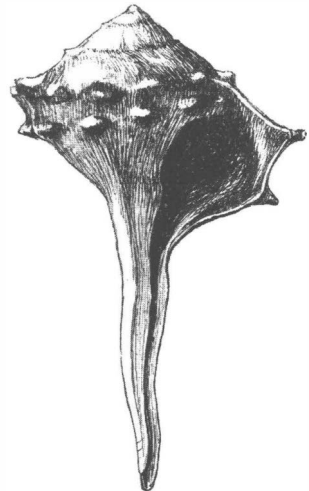


Fig. 191 *Pyrula rusticula* Bast.

faunistisch reiche alttertiäre Ablagerungen bieten die großen Becken, wie in Ungarn, Siebenbürgen und Oberitalien.

Im Jungtertiär geht eine weitere Auflösung der Rand- und Binnenmeere in einzelne Becken vor sich, die eine selbständige Entwicklung zeigen und allmählich trocken gelegt werden. Süßwasserseen finden sich vorübergehend in großer Ausdehnung. In Europa beginnt das Miozän an vielen Punkten mit einer geringen Transgression, mit der eine Fauna erscheint, die schon



Fig. 192 *Pleurotoma Lamarcki* Bell.

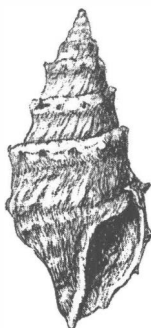


Fig. 193 *Pleurotoma asperulata* Lam.

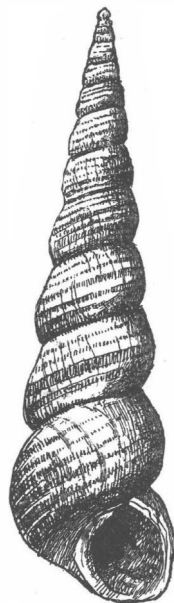


Fig. 194 *Turritella terebralis* Lam., $\frac{2}{3}$ mal

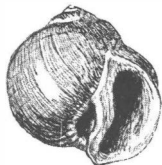


Fig. 195 *Natica helicina* Brocc.

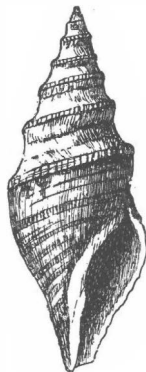


Fig. 196 *Pleurotoma cataphracta* Brocc.



Fig. 197 *Cerithium pictum* Bast.

große Ähnlichkeit mit der des heutigen Mittelmeeres besitzt (Fig. 178 bis 197). Unter der reichen Konchylienfauna sind vor allem die Pectiniden und andere Bivalven stratigraphisch wichtige Fossilien. Es waren nur mehr geringe Teile der heutigen Küstengebiete überflutet. In

Mitteleuropa (Fig. 198) führte anfangs eine Meeresstraße vom Rhônebecken längs des Außensaumes der Alpen und Karpathen nach der Norddeutschen Tiefebene und Rumänien. Im Bereiche der Alpen, in Böhmen und in anderen Festlandsgebieten wurden Braunkohlen abgelagert.

Im Mittelmiozän war die Meeresverbindung durch das Alpenvorland schon unterbrochen und Süßwasserbildungen sind weit verbreitet. In der Gegend von Wien brach an Verwerfungen ein Teil der

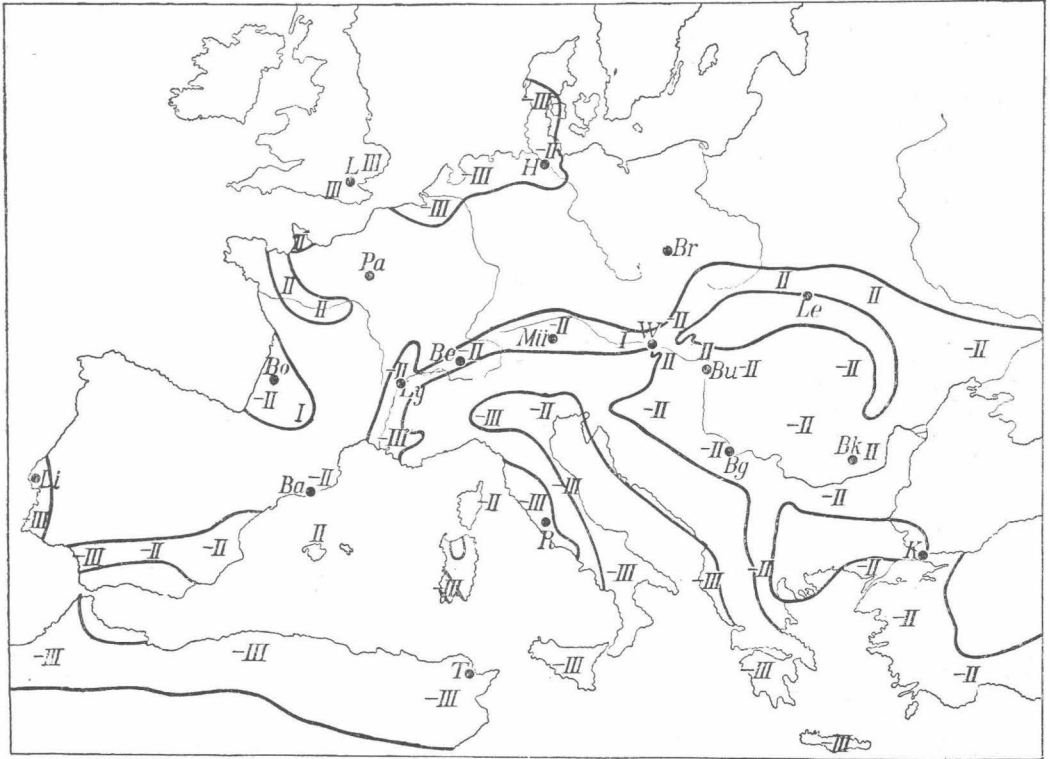


Fig. 198 Karte der Meeresbedeckung Europas im Neogen. I = Burdigalien-Helvetien, II = Tortonien, III = Pliozän. Der Bindestrich vor den Ziffern bedeutet, daß die Meeresbedeckung bis in diese Stufe reicht.

Alpen zum Inneralpinen Becken ein, das der westlichste Teil der großen ungarischen Bucht wurde. Die in ihm abgelagerten Tone, Sande und Kalke führen eine reiche Fauna, die weitere Annäherung an die des heutigen Mittelmeeres zeigt.

Im Obermiozän zog sich das Meer zurück und Gips, Salz und Schwefel führende Ablagerungen sind vielfach verbreitet. Ein Binnenmeer wurde vom Mittelmeere abgeschnitten, das aus der Gegend von Wien bis über den Aralsee reichte und teilweise ausgesüßt war (Sarmatisches

Meer,¹ Fig. 199). Seine Fauna ist eine auf wenige Gattungen beschränkte verarmte Meeresfauna (Fig. 200, 201). Durch Gebirgsbildung in den Siebenbürgischen Karpathen wurde dieses große Becken im Pliozän in das westliche Pannonische² (Ungarn, Niederösterreich, Mähren) und das östliche Pontische³ zerlegt, das das Gebiet des Schwarzen

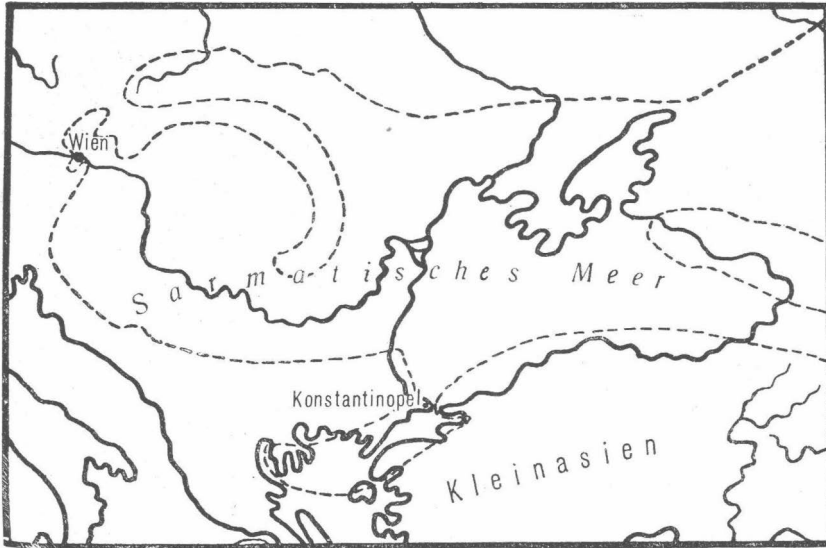


Fig. 199 Karte des Sarmatischen Binnenmeeres

Meeres einnahm (Fig. 202). Die Gegend von Wien war eine Bucht des Pannonischen Sees und seine Ablagerungen, Tone und Sande mit einer

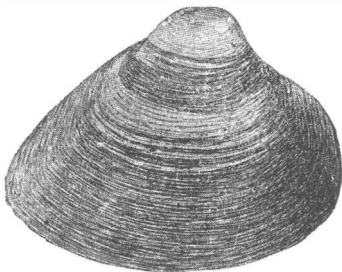


Fig. 200 *Mactra podolica* Eichw.

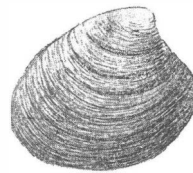


Fig. 201 *Tapes gregaria* Partsch

armen Konchylienfauna (Fig. 203 bis 205) (vor allen *Congeria* und *Melanopsis*) werden als Pontische Stufe bezeichnet.

Bei dem Rückzuge dieser Wasserbedeckung bildeten sich am Rande der Becken Terrassen aus, die den verschiedenen Wasserständen entsprechen. Damals wurden auch die Flußsysteme in den meisten nun trocken liegenden Becken ausgebildet, wie z. B. das der Donau.

¹ Sarmatia, das südliche Rußland.

² Pannonien, römische Provinz, ein Teil des heutigen Ungarn.

³ Pontus Euxinus, Schwarzes Meer.

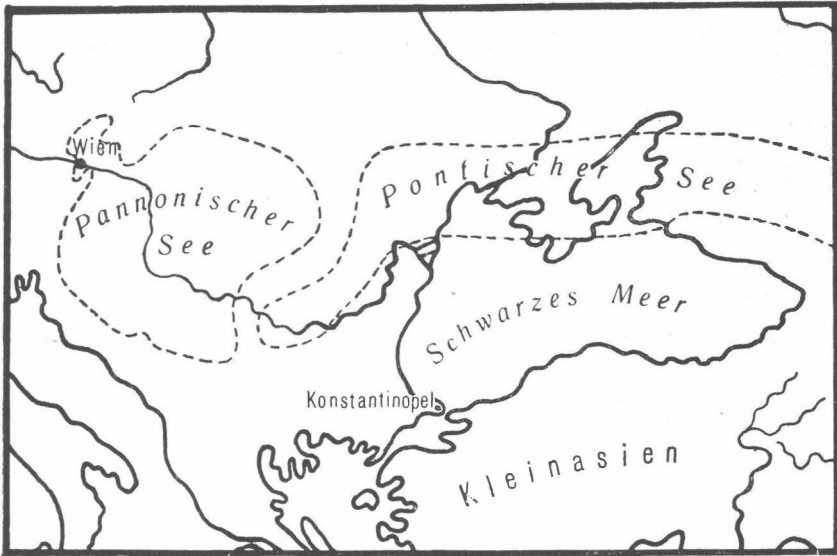


Fig. 202 Karte des Pannonischen und des Pontischen Binnenmeeres

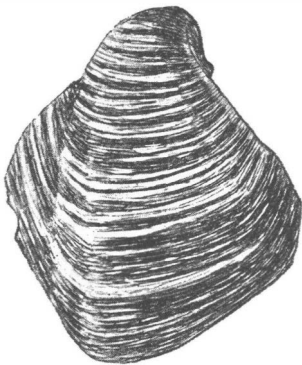


Fig. 203 *Congeria subglobosa*
Partsch, $\frac{2}{3}$ mal



Fig. 204 *Congeria spathulata*
Partsch



Fig. 205 *Melanopsis Martiniana* Fér.

Im Mittelmeergebiete bestanden noch manche Landverbindungen, wie zwischen Afrika und Italien und den Inseln und das Ägäische Meer und das östliche Mittelmeer waren noch nicht eingebrochen. Auch in den Alpen, im Innern des Karpathenbogens, im französischen Zentralplateau, in Böhmen und im Rheingraben fanden Nachbrüche statt. In diesen Senkungsfeldern stellen sich vielfach jungvulkanische Erscheinungen ein. Die Gebirgsbildung ist in den Alpen im

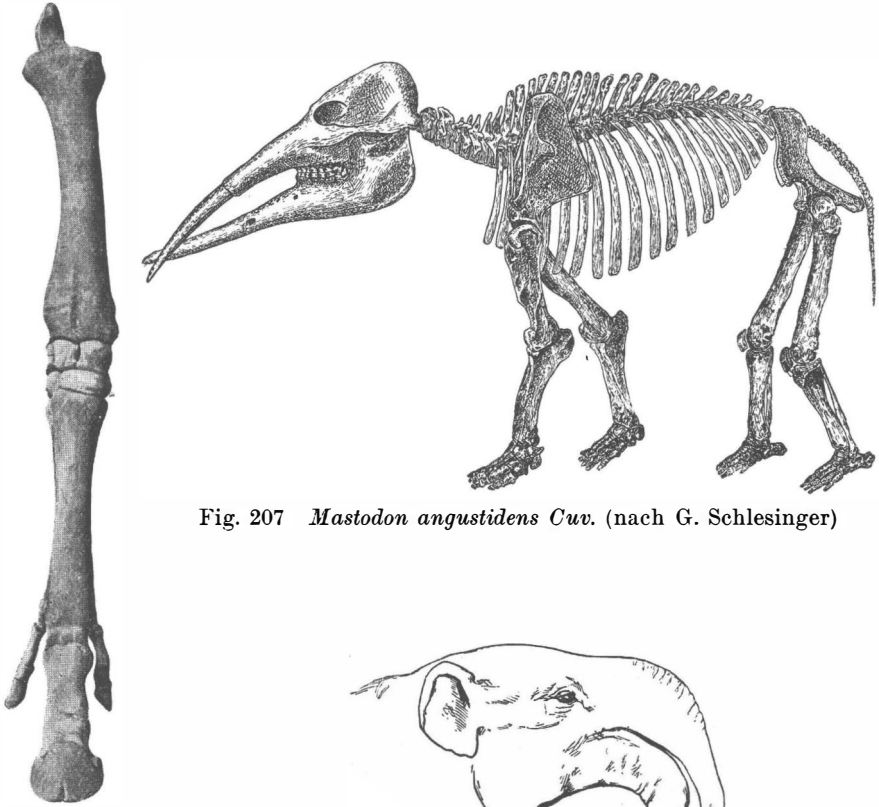


Fig. 207 *Mastodon angustidens* Cuv. (nach G. Schlesinger)

Fig. 206 *Hipparion*, ein Vorfahr des Pferdes, rechter Vorderfuß mit drei Zehen



Fig. 208 *Dinotherium*, $\frac{1}{36}$ mal (nach W. K. Gregory)

Untermiozän zur Ruhe gekommen, in manchen jungen Gebirgen aber haben faltende Bewegungen noch weiter andauert.

Das Relief der damaligen Landoberfläche war in den Grundzügen schon das heutige, nur sind manche junge Hochgebirge, wie z. B. die Ostalpen ein mäßiges Bergland gewesen, das erst zum Schlusse des Tertiärs gehoben worden ist.

Es erscheint nun eine großenteils neue Säugetierfauna (Fig. 206 bis 208) mit Pferden, Nashörnern, Schweinen, Kamelen, Hirschen, Giraffen, Antilopen, Gazellen, Rindern, Wölfen, Bären, Hyänen, Katzen, Elephanten und hochentwickelten Affen. Man kann fünf Entwicklungsstufen in ihr unterscheiden. Besonders die Pferde mit *Hipparion*, die

Elephanten mit *Mastodon* und *Dinotherium* und schweineartige Formen sowie Rhinoceroten haben wichtige entwicklungsgeschichtliche Erfahrungen geliefert.

Das Klima war beträchtlich kühler geworden; in Mitteleuropa gediehen anfänglich noch Palmen, Zimtbaum, Lorbeer, Magnolia, Myrthen u. a. immergrüne Laubbäume. Kalkriffe finden sich nur mehr im südlichen Mittelmeere, wo sie mächtige Massen aufbauen. Die tiergeographischen Provinzen bilden sich nun allmählich schärfer aus.

Die Absatzgesteine sind großenteils wenig verändert erhalten, die marinen Ablagerungen ausschließlich seichten Wassers, kaum unter der 200 m Linie gebildet. Muschelgrus (Falun), Foraminiferen-, besonders Globigerinenschlick und Radiolarienschlick, Pteropoden- und Pleurotomentone und Cerithiensande sind bezeichnende Ausbildungen. Süßwasserkalke, Diatomeenlager (Kieselgur), Braunkohlen, Erdöl, Schwefel, Phosphorit und Brauneisenlager sind vielfach verbreitet. Auch mächtige Schottermassen sind besonders zum Schlusse dieser Periode aufgehäuft worden.

Faziell mannigfaltige, fossilreiche Schichtfolgen des Neogen kennt man in den französischen Becken, in Belgien, England, Deutschland, in der Nordschweiz, in Bayern, Österreich, Ungarn, Rumänien und an vielen Punkten im Bereiche der Mittelmeerländer. Über das Wienerbecken wird zum Schlusse noch eine eingehende Darstellung (Seite 201) folgen. Die jungtertiären Ablagerungen sind in allen Kontinenten reich vertreten, aber überall durch eine ganz eigene Fauna gekennzeichnet, so daß es sehr schwer ist, die einzelnen Stufen dem Alter nach untereinander zu vergleichen. Die weitverbreiteten Säugetierfaunen sind dabei eine wertvolle Hilfe.

2. Quartärformation

Montes quartarii wurden in Italien die losen Bildungen der Erdoberfläche genannt, die meist von Flüssen zusammenschwemmt waren, weshalb sie auch in Erinnerung an die Sündflut als Diluvium bezeichnet wurden. Der Name Pleistozän oder Plistozän ist dafür auch im Gebrauch. Als man die Vereisung weiter Teile der Erdoberfläche in dieser Zeit erkannte, wurde der Name Eiszeit dafür verwendet. Bisweilen wird auch das Alluvium, die Bildungen der Gegenwart umfassend, dazu gerechnet. Doch ist es zweckmäßig es abzutrennen, da es das Arbeitsfeld der dynamischen Geologie ist, die uns das Wirken der heute tätigen Kräfte der Erdoberfläche lehrt.

Das Quartär beginnt mit dem Vordringen der nordischen Eismassen gegen Süden und endet mit deren schließlichem Rückzuge zu ihrer heutigen Verbreitung in den skandinavischen Hochgebirgen.

Quartäre Bildungen sind über die ganze Erde verbreitet, werden aber auf geologischen Karten großenteils nicht ausgeschieden, da sonst die älteren Formationsglieder zu stark verhüllt würden. Nur auf bodenkundlichen (agro-

nomischen¹ Karten finden sie volle Berücksichtigung. Die Umrise der Kontinente waren schon ganz ähnlich den heutigen. England hing mit dem Festlande zusammen, da die Nordsee und der Kanal noch nicht bestanden und der nordatlantische Kontinent hat sich wohl erst jetzt durch Niederbruch in die einzelnen Schollen aufgelöst. Skandinavien war bisweilen eine Insel und über Sizilien bestand eine Verbindung nach Afrika. Der Sundaarchipel war mit Asien verbundenes Festland. Ebenso war Japan noch nicht abgetrennt. Das Rote Meer brach ein und an vielen anderen Punkten der Erdoberfläche zeigen sich Veränderungen im Umriss der Festländer. Besonders in den Geosynklinalen gehen an der Wende vom Tertiär zur Quartärzeit und bis in die Gegenwart Hebungen vor sich. Die meisten Hochgebirge, wie die Alpen, sind in dieser Zeit erst als solche hervorgetreten und man kann an vielen von ihnen überaus junge Hebungen erkennen. Auch die submarinen Flußrinnen im Schelf, großenteils wohl auch dieser selbst, stammen aus der Zeit. Verschiebungen der Strandlinie kann man an hochliegenden Meeres- und Flußterrassen erkennen, die bis 100 m emporreichen. Es sind also Strand-

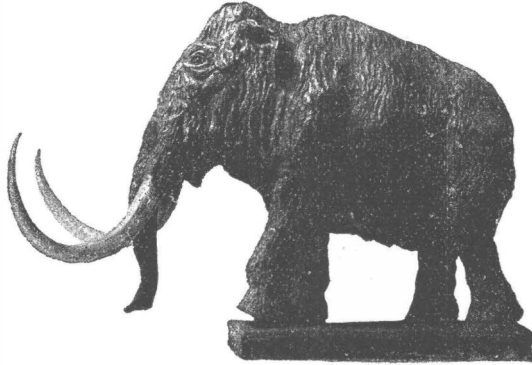


Fig. 209 *Elephas primigenius* Blumb. (nach einer Rekonstruktion von F. L. König)

bewegungen mit verschiedenen Vorzeichen (positive und negative) vor sich gegangen.

Die vulkanischen Erscheinungen waren über die ganze Erde kräftiger als heute, aber an dieselben Linien gebunden. Das Relief der Festländer, besonders der Hochgebirge, hat durch die kräftige Erosion und Aufschüttung seine heutige Gliederung in den Einzelheiten erhalten. Das Eis, seine Schmelzwässer, die in warmen Klimaten so gesteigerten Niederschläge (Pluvialzeit²) und die Winde haben damals Wirkungen hervorgebracht, die weit über ihre heutige Kraft hinausgehen. Die Schönheit unserer Alpen, die großartigen Talschlüsse, steilen Felswände, die Talstufen, Schluchten, Wasserfälle, die zahllosen Seen der Hochtäler, die großen, den Fuß des Gebirges begleitenden Seeflächen sind in dieser Zeit entstanden oder umgeformt worden. Mächtige Schotteranhäufungen der Flüsse, die Blocklehme der Grundmoränen, Lößmassen, Verwitterungslehme und Gehängeschutt spielen eine große Rolle in der Ausbildung des Oberflächenreliefs.

Die marinen Bildungen sind begreiflicherweise von geringerer Bedeutung und fast nur auf die Küstenstreifen, gehobene Korallenriffe u. dgl. beschränkt. Weit aus herrschen terrestrische Ablagerungen vor. Blocklehme, Löß und Fluß-

¹ Agros, gr., Acker, nomos, gr., Lehre; die Lehre vom Ackerbau betreffend.

² Pluvialis, lat., durch Regen geschaffen; Regenzeit.

bildungen bedecken oft große Teile der Erdoberfläche und können Hunderte von Metern mächtig werden. Die Diagenese hat Entkalkung, Oxydation, Konkretionierung und Inkohlung (Torf und Lignite) bewirkt. Kalktuffe und Kieselsinter, meist Absätze kalter und warmer Quellen, sind häufig.

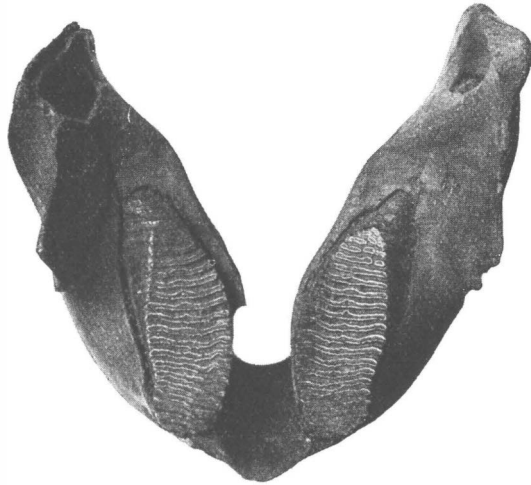


Fig. 210 *Elephas primigenius* Blumb., Unterkiefer, $\frac{1}{8}$ mal

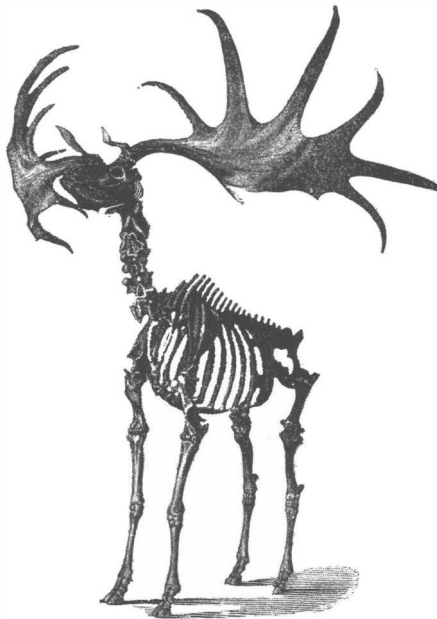


Fig. 211 *Cervus giganteus* Blumb., $\frac{1}{40}$ mal

Die Säugetierwelt ist durch das Auftreten großer Tierformen gekennzeichnet. Elefanten, vor allem *Elephas primigenius* (das Mammut) (Fig. 209, 210), Riesenhirsch (Fig. 211), Höhlenlöwe, Höhlenbär in

Europa, riesige Faul- und Gürteltiere (Fig. 212) in Südamerika, Beuteltiere und Schnabeltiere in Australien, Lemuriden in Madagaskar und Riesenstraube auf allen Südkontinenten sind Beispiele eines kurzlebigen Riesenwachstums, über dessen Ursachen wir ganz im unklaren sind. Das plötzliche Aussterben dieser Tiere ist ebenfalls bemerkenswert.

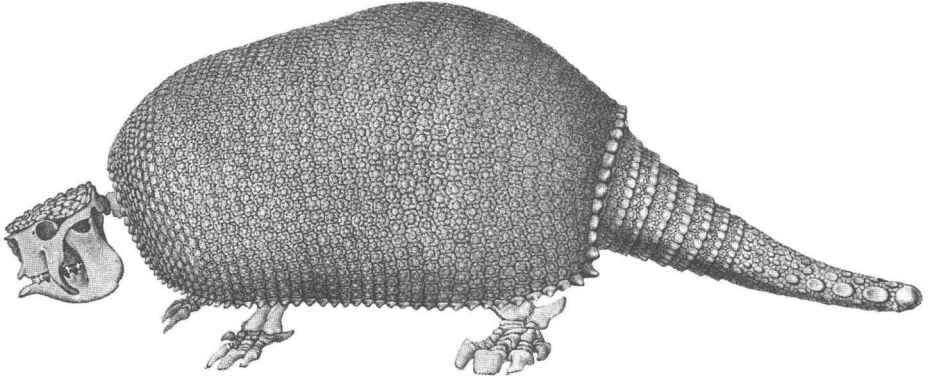


Fig. 212 *Glyptodon claviceps* Owen, $\frac{1}{28}$ mal (nach G. Burmeister)

Außerdem fanden sich in unseren Gegenden *Rhinoceros* (Fig. 213), Nilpferd, Saiga-Antilope, Wildesel, Wildpferd, Moschusochs, Elch, Rentier, Vielfraß, Schneehase, Lemminge, Steppenmurmeltier, Höhlenhyäne, Panther, Eisfuchs u. a. Manche dieser haben sich in den hohen Norden

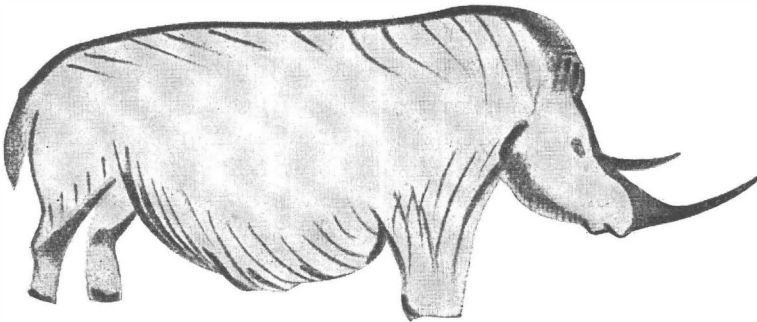


Fig. 213 *Rhinoceros antiquitatis* Blumb. Nach einer Wandmalerei in der Höhle von Fond-de-Gaume (Frankreich) (nach H. Breuil).

oder das Hochgebirge zurückgezogen. Man kann eine altquartäre und eine jüngere kälteliebende Tiervergesellschaftung unterscheiden: und solche der Tundra, der Steppe und des Waldes. Die Tierprovinzen sind noch nicht so deutlich geschieden. In Europa kann man äthiopische, indische und nordamerikanische Formen unterscheiden.

Die Flora war zur Zeit der Vereisung arktisch und subarktisch mit Silberwurz (*Dryas*), Polarweide, Zwergbirke, Gräsern und Moosen, eine

Tundrenflora, der Bäume fehlen (Fig. 214). In den wärmeren Perioden tritt eine Steppen- und Waldflora auf mit Buche, Birke, Weide, Pappel, Ulme, Ahorn, Esche, Linde, Kiefer, Fichte und Lärche. Als pontische Elemente erscheinen auch *Buxus sempervirens* und *Rhododendron ponticum*, die auf ein feuchtes und wärmeres Klima als heute hindeuten. Auch von den kälteliebenden Pflanzen leben einige in arktischen Gegenden und im Hochgebirge weiter.

Wir können in Europa ein Wandern der nordischen Fauna nach Süden bis an das Mittelmeer erkennen, während die ältere, wärmeliebende Fauna ausstirbt. Später zieht sich jene wieder nach Norden zurück und überläßt das Gebiet einer Vergesellschaftung gemäßigten Klimas. Auch die Floren zeigen ähnliche Schwankungen in ihrer Verbreitung, je nach den Veränderungen des Klimas, das bald ozeanisch, wärmer und feuchter, bald kontinental, kälter und trocken war.

Wir wissen, daß Skandinavien um etwa 500 m, Norddeutschland um etwa 300 m höher lagen als heute. Wahrscheinlich war dieser Betrag im hohen Norden noch größer. Dort sammelten sich große Schneemassen an und das Inlandeis verbreitete sich ähnlich dem grönländi-

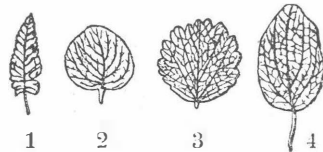


Fig. 214 Wichtige Formen der eiszeitlichen Flora: 1 *Dryas octopetala*, 2 *Salix polaris* Wg., 3 *Betula nana* L., 4 *Salix reticulata* L. (nach E. Geinitz)

schen, nur in viermal größerer Ausdehnung ($6\frac{1}{2}$ Millionen Quadratkilometer, Fig. 215) über das Nordseegebiet bis nach Südengland, den Unterrhein, Thüringerwald, das Erzgebirge, Riesengebirge, die Karpathen und nach Südrußland und reichte im Ural bis zum $62.^{\circ}$ n. B. Sibirien, das in größerer Ausdehnung als heute tiefgründig gefrorenen Boden aufwies, war wohl nur von einer nicht in Bewegung befindlichen Eismasse bedeckt. Die Mächtigkeit des Eises in Nordeuropa war sicher 1000 m. Es breitete eine mächtige Grundmoräne aus, schuf Endmoränen und schleppte riesige Blöcke nordischer Gesteine auf seinem Rücken mit sich. Der erste Vorstoß drang bis über Leipzig nach Süden vor. Dann schmolz das Eis vollständig ab, das Klima muß wärmer gewesen sein als heute (Zwischeneiszeit, Interglazial) und neuerdings drang es bis Leipzig vor (II. Vereisung). Dann wurde das Klima wieder wärmer, das Eis schmolz bis in das südliche Schweden ab und drang dann wieder bis Hamburg, Magdeburg, Brandenburg, Polen und Nordrußland vor (III. Vorstoß). Während es sich dann bis zu seiner heutigen Verbreitung in dem skandinavischen Hochgebirge zurückzieht, treten wiederholte Klimaschwankungen ein, die zum Teil eine größere Bedeutung erlangen.

Das ganze vereist gewesene Gebiet zeigt Erscheinungen der Moränenlandschaft, die besonders nördlich von der Endmoräne des letzten Vor-

stoßes gut erhalten sind. Aus der Verbreitung der von Skandinavien mitgeführten Geschiebe kann man die Bewegungsrichtung des Eises

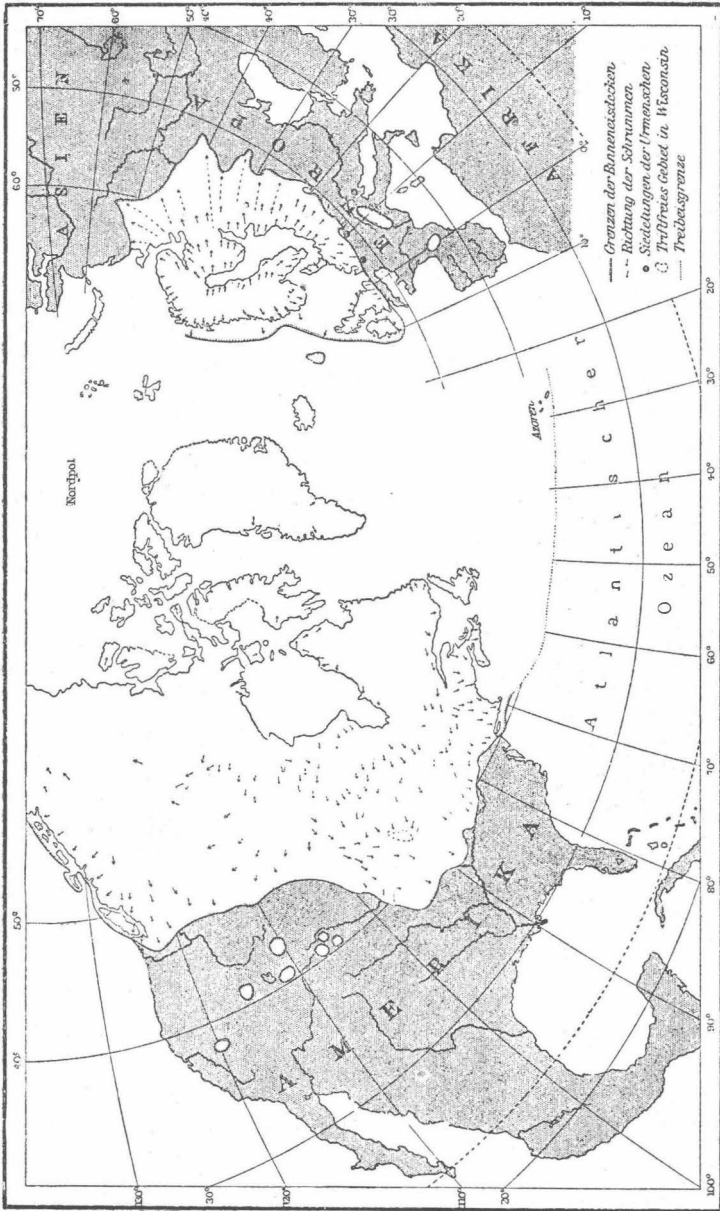


Fig. 215 Verbreitung der Inlandeisdecken in Europa und Nordamerika (nach Wright, Geinitz und J. Walther)

erkennen. In den Rückzugsperioden sind marine, lakustre und fluviale Bildungen mit Konchylien und Säugetierresten gebildet worden, die zum Teil zwischen die glazialen Ablagerungen eingeschaltet sind. Seit

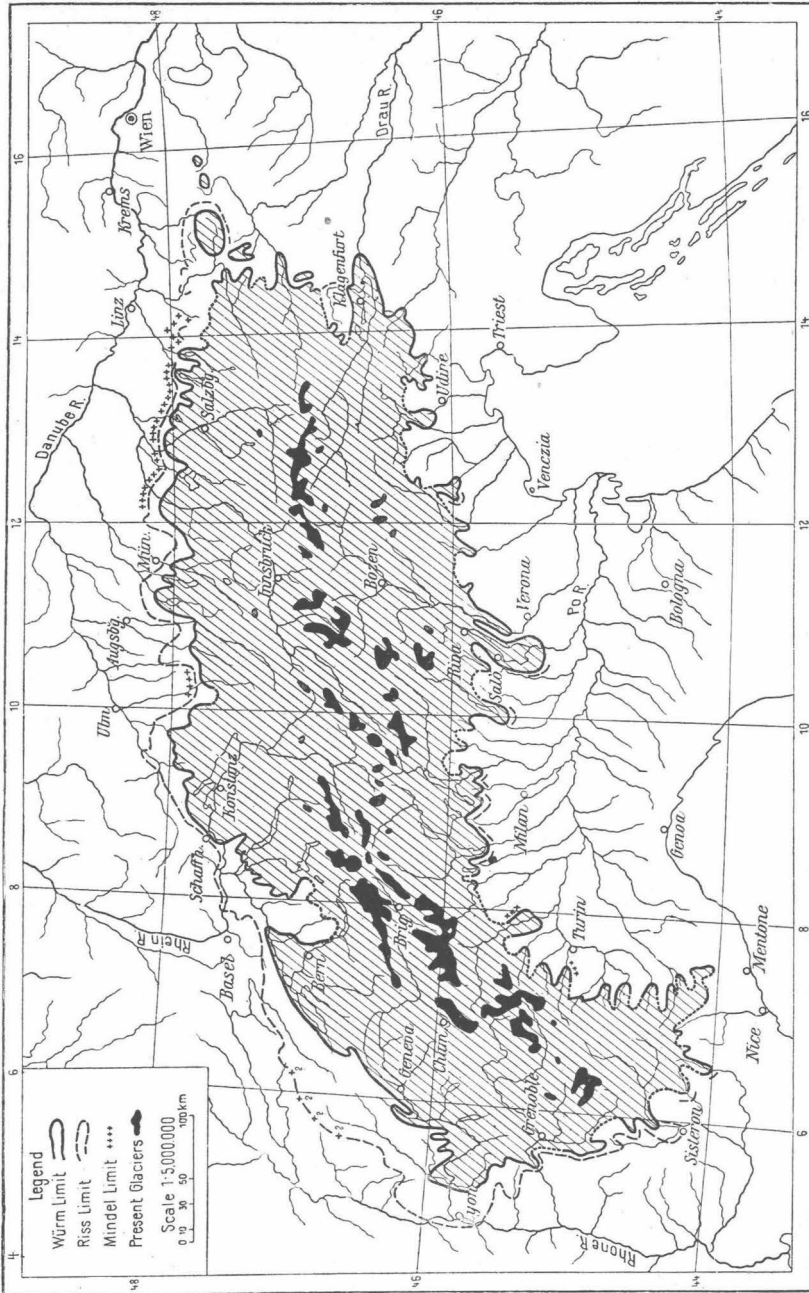


Fig. 216 Die heutige (schwarz) und die diluviale (schraffiert) Vergletscherung der Alpen (nach F. Leverett)

der Interglazialzeit finden sich deutliche Spuren des Menschen. Gleichzeitig mit der nordischen Vereisung und wohl größtenteils in ursächlicher Abhängigkeit davon vollzog sich die Vergletscherung vieler Hoch- und Mittelgebirge, vor allem der Alpen (Fig. 216). Die Schneegrenze lag

hier zirka 1300 m tiefer als heute in 900 bis 1300 m. Das Gebirge war von einem Eismantel bedeckt. Wohl tausend Meter mächtig drangen Gletscher in die Täler und in das Vorland, wo sie Endmoränen zurückließen (I. Vereisung). Dann trat ein Abschmelzen ein und das Gebirge wurde eisfrei. Es herrschte ein wärmeres Klima als heute, wie aus der weitgehenden Bedeckung der Gebirge durch Bergschutt und dem Auftreten wärmeliebender Pflanzen und Tiere geschlossen werden muß. Der Mensch erschien im Hochgebirge und jagte in über 2000 m Höhe das zahlreiche Wild. Dann trat eine Verschlechterung des Klimas ein, das Eis drang wieder bis in das Vorland vor (II. Vereisung) und zog sich dann in einer Periode wärmeren Klimas in die höheren Teile der Haupttäler — der Innngletscher bis etwa 800 m Höhe — zurück. Dann stieß es neuerdings vor, erreichte aber nicht mehr den Fuß des Gebirges (III. Vorstoß) und zog sich hierauf, von Stillständen unterbrochen, zu

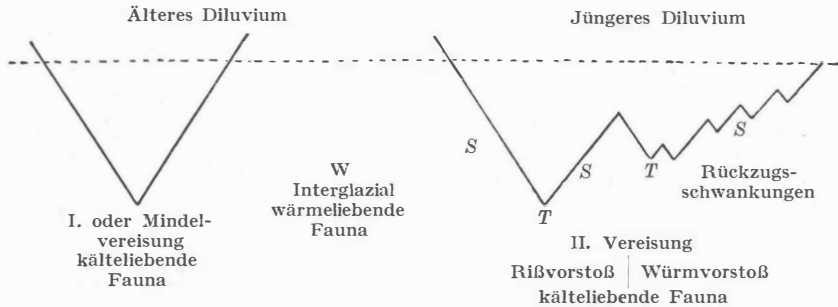


Fig. 217 Die Schwankungen der Vereisung in Nordeuropa und in den Alpen. Die gestrichelte Linie gibt die Lage des heutigen Eisrandes in Norwegen und in den Alpen an. Die starke Linie zeigt dessen Vorstöße (nach unten) und die Rückzüge (nach oben) an. Von links nach rechts folgen die Bewegungen der Zeit nach. Im älteren Diluvium rückt das Eis vor und schmilzt sodann weiter ab, als es heute der Fall ist. Dann folgte der jüngere Vorstoß, ein Rückzug (Klimaschwankung) und ein weniger bedeutender neuerlicher Vorstoß. Von Schwankungen unterbrochen, zieht sich dann das Eis zu seinem heutigen Stande zurück. *W* = Wald, *S* = Steppe, *T* = Tundra

seinem heutigen Stande zurück. Wir sehen also einen völlig parallelen Verlauf der Erscheinungen im hohen Norden und in den Alpen (Fig. 217). Von den Vereisungen rührt die Moränenlandschaft her, die heute viele Täler und der Fuß des Gebirges aufweisen. Aus Wärmeperioden stammen Tone, Mergel mit reicher Fauna und Flora, Torflager, Kohlen, Verwitterungsbreccien u. dgl.

In dem Gebiete zwischen der nordischen Eismasse und den Alpen wurden durch die Wasser Terrassen geschaffen, die meist in 30 und 15 m liegen. Große Massen von Löß wurden aus den Moränen ausgeblasen und weithin und oft mächtig abgelagert. In ihm, in Schottern, Sanden, Torfen und Kalktuffen findet sich eine reiche Fauna in Gesellschaft mit Spuren und Resten des Urmenschen. Auch in Höhlen sind Knochen-

lehme, besonders mit Resten des Höhlenbären, reiche Fundstellen für den Erforscher der Urgeschichte des Menschen.

In Nordamerika waren die Vorgänge noch umfassender. Zweimal ist der Norden des Landes bis 1200 m hoch gehoben worden und damit ursächlich verknüpft, haben zweimal die nordischen Eismassen das Land bis zum 38. Breitengrad im Osten und bis zum 48. Breitengrad im Westen überflutet. Doch sind unsere Kenntnisse darüber noch viel ungenauer als in Europa.

Fast alle Hochgebirge der Erde und der antarktische Kontinent zeigen eine ungleich größere Vereisung als heute, die ebenfalls Schwankungen erkennen läßt. Wohl die ganze Erdoberfläche stand damals unter dem Einflusse eines feuchteren Klimas, das sich in starken Niederschlägen, ausgedehnten Seen, kräftiger Fluß-tätigkeit und anderem ausprägt.

Die Ursache der Eiszeit ist bis heute nicht geklärt. Man hat sie in kosmischen Erscheinungen, wie Änderung der Sonnentemperatur, starker Sonnenfleckbildung, Durchgang des Sonnensystems durch kosmische Nebel usw. gesucht. Auch tellurische Ursachen, wie Änderung der Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn (Präzession und Nutation) der Exzentrizität der Erdbahn, Polschwankungen und andere oder geophysikalische Vorgänge, wie Änderung der Beschaffenheit der Atmosphäre durch Zufuhr von Kohlensäure durch vulkanische Tätigkeit und andere sind in Erwägung gezogen worden. Aber alle diese Versuche sind gescheitert.

Die Hebung einer Erdscholle um 200 m erniedrigt lokal die Jahresmitteltemperatur um 1° Celsius und die oben angeführten Beträge, die in Nordamerika und Nordeuropa festgestellt wurden, würden genügen, um die Erscheinungen der Eiszeiten zu erklären. Besonders die wiederholten Vereisungen finden durch eine wiederholte Hebung der arktischen Regionen ihre Erklärung. Solche Hebungen sind — wie gezeigt wurde — als Folgeerscheinung der Gezeitenbremsung zu erwarten. Durch Hebung einzelner Festlandsmassen lassen sich auch die unregelmäßig über die ganze Erdoberfläche verteilten örtlichen Vereisungen der älteren Perioden der Erdgeschichte erklären.

Der Mensch der Eiszeit

Eine ganz besondere Bedeutung besitzt die Diluvialzeit durch das Erscheinen des Menschen auf der Erde. In dem großen Interglazial vor etwa hunderttausend Jahren finden wir seine ersten Spuren. Skelettreste sind ungemein selten. Viel häufiger trifft man seine primitiven Werkzeuge, die in der ältesten Zeit (Steinzeit) aus Stein und Knochen, später aus Metall verfertigt waren. Auf solche Artefakte stützt sich die Gliederung der vorgeschichtlichen (prähistorischen) Zeit. Dem Diluvium gehört nur der ältere Teil der Steinzeit, das Paläolithikum an. Die älteste Menschenrasse ist der Heidelberger Mensch (Fig. 218), der mit massivem Unterkiefer ohne Vorwölbung des Kinns ein anthropoides Aussehen besessen haben muß. Von dem folgenden Neanderthaler Typus (Fig. 219) kennt man vollständige Skelette aus Frankreich, England und Kroatien. Er besaß plumpe Gestalt, geringe Größe, aufrechten, knieweichen Gang, fast kinnlosen Unterkiefer mit starker Prognathie, fliehende Stirn, starke Augenbrauenbogen, weite, kreisrunde Augenhöhlen und etwa 1230 cm³ Schädelinhalt (Europäer 1480 bis 1550 cm³). Eine jüngere Rasse ist der Aurignacmensch aus Frankreich und Mähren, der schon schlanke Gestalt, steile, hohe Stirn und gut ausgebildetes Kinn besaß.

Der Beginn der Menschwerdung wird an die Benützung des Feuers geknüpft. Anfänglich lebte der Mensch im offenen Gelände, im Schutze von Felsen, später in Höhlen. Er war Jäger und erlegte mit primitiven Waffen die Jagdtiere. Diese

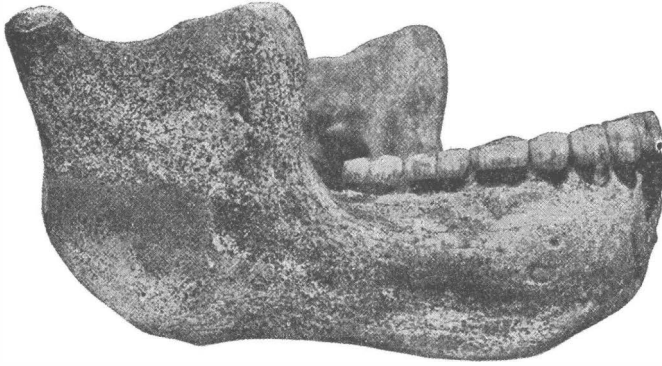


Fig. 218 Unterkiefer des *Homo heidelbergensis*, $\frac{2}{3}$ mal (nach E. Werth)

und die Handwerkzeuge sowie Schmuckgegenstände sind die Zeugen seines geistigen Fortschrittes, der sich in der Verbesserung der Lebensverhältnisse ausdrückt.

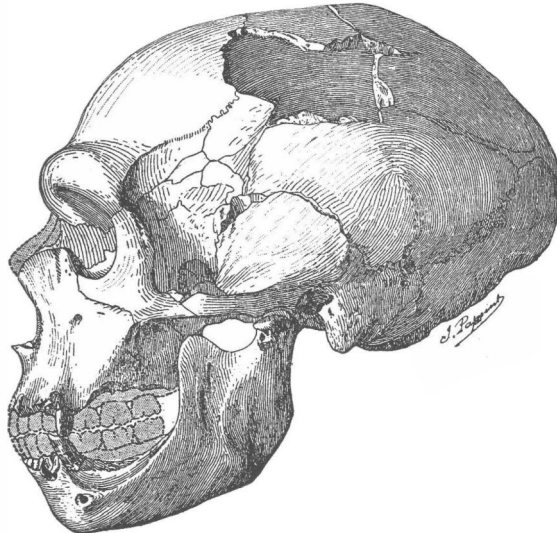


Fig. 219 Schädel des Neanderthalmenschen mit ergänztem Nasenbein und Gebiß, $\frac{2}{3}$ mal (nach M. Boule)

Im Paläolithikum besaß er nur aus Stein (Feuerstein, Jaspis, Quarzit u. a.) zugehauene, nicht geglättete Faustkeile, Schaber, Kratzer, Stichel und Messer (Fig. 220 bis 224). Dann erschien die Knochenindustrie (Fig. 225), die ersten Versuche von Zeichnungen auf Knochen und Höhlenwänden, Rundskulpturen usw., die ersten Idole und Anfänge eines Totenkults. In Europa scheint eine nördliche, geistig höher stehende Aurignacrasse mit Steinklingenkultur in Gesellschaft einer kälteliebenden Fauna, in Mitteleuropa die Neanderthalrasse mit Faustkeil-



Fig. 220 Faustkeil, $\frac{1}{2}$ mal



Fig. 221 Kerbspitze, $\frac{1}{2}$ mal

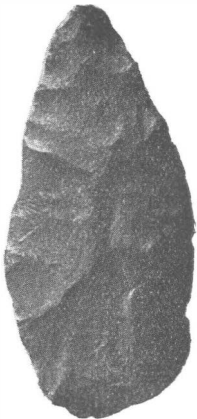


Fig. 222 Lorbeerblattspitze, $\frac{1}{2}$ mal

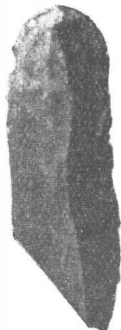


Fig. 223 Klingenskratzer, $\frac{1}{2}$ mal



Fig. 224 Retuschierte Klinge, $\frac{1}{2}$ mal



Fig. 225 Harpune aus Knochen, $\frac{1}{2}$ mal

kultur und einer wärmeren Fauna gelebt zu haben. Beim Vordringen der nördlichen Vereisung wurden beide nach Süden gedrängt. Die Südgruppe gelangte nach Afrika, die Nordgruppe an das Mittelmeer. Beim Rückzuge der Vereisung drangen beide nordwärts vor und vermischten sich.

Wichtige diluviale Menschenfunde sind auch in Afrika und in Süd- und Ostasien gemacht worden. Aus Amerika und Australien kennt man sie nicht.

Es ist versucht worden, die Dauer der diluvialen Perioden in Jahren auszudrücken. Es ist aber bisher nur gelungen aus den Bändertonen, die in Schweden durch den jahreszeitlichen Wechsel der Sedimentation ausgezeichnet geschichtet gebildet worden sind, zu ermitteln, daß das Eis 5000 Jahre gebraucht hat, um sich von Südschweden bis in die Hochgebirge zurückzuziehen und daß seither 7000

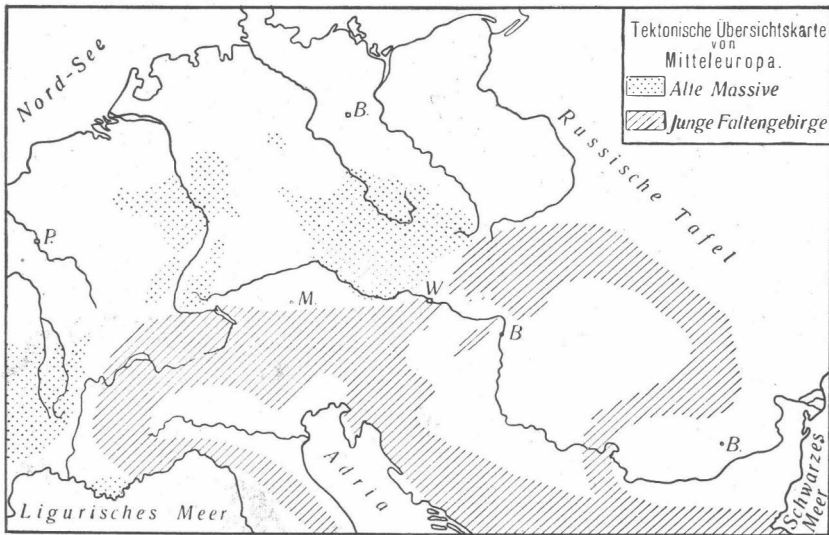


Fig. 226 Tektonische Übersichtskarte von Mitteleuropa. Zeigt, wie die jungen Gebirge der Alpen und Karpathen an die alten Massen (punktiert) angepreßt wurden.

P Paris, B Berlin, M München, W Wien, B Budapest, B Bukarest

Jahre verfließen sind. Dies zeigt uns die Geringfügigkeit aller Menschengeschichte und Menschenwerke gegenüber den Ereignissen, die sich uns aus der Vorzeit der Erde offenbaren.

Geologischer Bau und Erdgeschichte von Österreich

Vergleiche die am Schlusse eingehaftete geologische Übersichtskarte!

Einer der hervorstechendsten Züge im geologischen Aufbau Europas ist das Herantreten der jungen Hochketten der Alpen und Karpathen an die seit dem Ende des Paläozoikum als starre Scholle bestehende Böhmisches Masse, die einer der Grundpfeiler des Kontinentes im Mesozoikum gewesen ist. Damals zeigte die Karte ein altes, kleines Festland im Norden, südlich davon das Germanische Becken, das seit dem Perm mehr minder isoliert, mit geringen Unterbrechungen bis

in das untere Tertiär in Senkung begriffen, ein seichtes Binnenmeer gebildet hat. Im Süden begrenzten es die Horste des variszischen Gebirges (Fig. 226), die Böhmisches Masse, der Schwarzwald und die Vogesen, zwischen denen Verbindungen mit dem freien, tiefen Mittelmeere bestanden, aus dem im Bereiche der Alpen veränderliche Inseln, wohl zum Teil Trümmer der paläozoischen Gebirgsketten emporragten. Dieses Bild hat sich während des Mesozoikum wenig verändert, bis in der Kreidezeit die alpine Faltung begann und durch das Alttertiär andauerte.



Fig. 227 Niedere Tauern vom Großen Bösenstein gesehen. Landschaftstypus der Zentralzone der Alpen (phot. Lotte Adametz).

Durch sie wurden das alpine Gebiet und die reich gegliederten Gebirgszonen Südeuropas landfest.

Die Böhmisches Masse fällt mit Ausnahme des Westens steil gegen die sie umgebenden Niederungen ab. In Bayern tritt der Bayrische Wald an die Donau heran, in Ober- und Niederösterreich, wo der Dunkelsteinerwald noch über die Donau nach Süden reicht, sinkt sie unter das Alpenvorland, gegen Osten unter das Karpathenvorland und im Norden senkt sie sich gegen die Niederung von Schlesien und Sachsen. Eine uralte Erdscholle, vorwiegend aus Graniten und Gneisen aufgebaut, dehnt sich von der Donau über das Gebiet der Moldau nach Norden aus, die Moldanubische Masse und an sie ist im Osten eine Zone, vorherrschend aus metamorphen Schiefen gebildet, angeschweißt, die im Oberkarbon gefaltet und von ihr überschoben ist, die als schmaler Saum

bis an die Donau bei Krems reichende Moravische Zone. Die Sudeten, das Erzgebirge, Fichtelgebirge und Böhmerwald bilden die weitere Umrahmung. Kambrische, silurische und devonische Schichten sind südwestlich von Prag in der sogenannten Silurmulde, in einem gefalteten Gebirge versenkt und stark abgetragen, erhalten. Karbon und Perm, beide kohleführend, liegen auf der alten Festlands oberfläche ungestört.

Im Bereiche der Alpen sind die paläozoischen und älteren Gesteine vorherrschend aus stark metamorphisierten Sedimentgesteinen hervorgegangene kristallinische Schiefer und Intrusivmassen, die das Rückgrat des Gebirges, die Zentralzone (zum Teil Grauwackenzone) hauptsächlich aufbauen helfen (vgl. auch Fig. 81). In dieser Zone liegt der Erzberg bei Eisenerz, das größte Eisenerzlager Österreichs (Eisengehalt der Erze bis 41 %), das seit Römerzeiten in Abbau gestanden hat. Der Zentralzone gehören an die Ötztaler Alpen, die Hohen Tauern, die Salzburger Schieferalpen, die Niederen Tauern, die Norischen Alpen (Gurktaler und Lavanttaler Alpen), die Eisenerzer Alpen und die Cetsischen Alpen (Gleinalpe und Fischbacher Alpen). Die ältesten Gesteine können nicht dem Alter nach bestimmt werden. Aus dem Silur und Devon sind marine Versteinerungen bekannt geworden. Während des Karbon und Unterperm lag das Gebiet der Zentralzone und der Nordalpen größtenteils wohl trocken. Wir

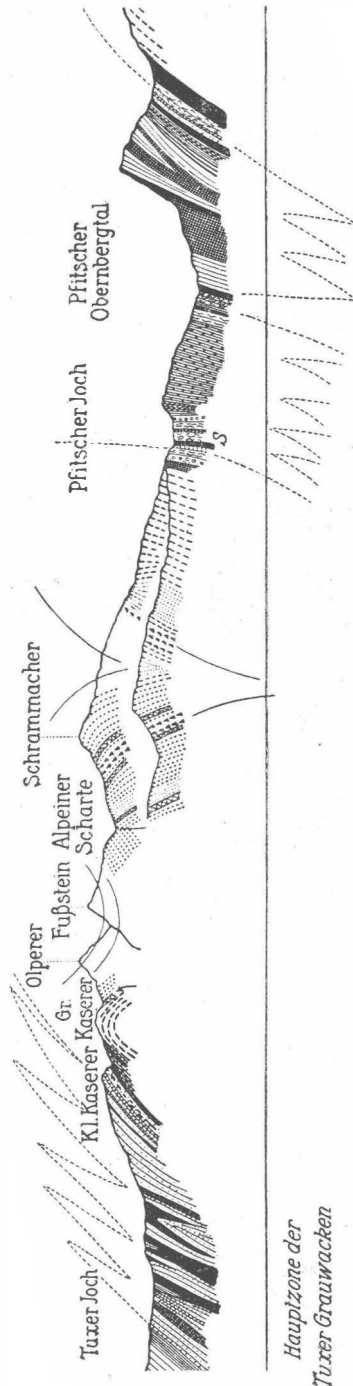


Fig. 228 Profil durch die westlichen Zillertaler Alpen (nach B. Sander). Trias (schwarz) in die kristallinische Schieferserie eingefaltet.

kennen pflanzenführende Schichten dieser Perioden. Mit dem Oberperm scheint eine Überflutung eingetreten zu sein. Mesozoikum ist auch in den Zentralalpen vertreten, so in den Stubaiern Bergen, am Tribulaun, in den Radstätter Alpen, am Semmering u. a. O. Die im allgemeinen sehr intensive Faltung der Zone (Fig. 227, 228) schwächt sich gegen Osten ab, wo das Gebirge sich stark verbreitert und im Bakony- und im Leithagebirge in die Karpathen fortsetzt. Ausgedehnte Überschiebungsdecken lassen nach der heute gangbaren Deutung in den Hohen Tauern und im Engadin u. a. O. fensterartige Aufbrüche freilich oft fraglicher jüngerer Gesteine zutage treten.

Die Triasformation weist in den Nordalpen eine in der Gesteinsentwicklung überaus mannigfaltige, meist sehr fossilreiche Schichtfolge auf. Sie beginnt mit klastischen Seichtwasser- und Lagunenbildungen, den Werfener Schiefer mit Salzlagern (Haselgebirge) in Bayern, Nordtirol (Hall) und im Salzkammergute (Hallein, Hallstatt). Dann folgen mächtige Kalkmassen, die die nördlichen Kalkalpen aufbauen, wie Gutensteinerkalk, Reiflingerkalk, Wettersteinkalk, Hauptdolomit, Dachsteinkalk, fossilreiche Hallstätterkalke und untergeordnet mergelig-schiefrige Gesteine (z. B. Lunzerschichten). Die jurassischen Bildungen nehmen viel weniger Anteil am Aufbaue des Gebirges und sind lückenhaft entwickelt, meist bunte Cephalopodenkalke und Marmore, Mergelkalke, Sandsteine, zum Teil pflanzen- und kohlenführend (Gresten), dann Radiolarienschiefer und Hornsteine führende Aptychenkalke, in denen die Ammonitenschalen aufgelöst und nur deren Verschlussdeckel (Aptychen) erhalten sind.

Die Unterkreide ist in den nördlichen Ostalpen als fossilreiche Kalke und Mergel und die Oberkreide vor allem als fast fossilere Sandsteine und Mergel mit Hieroglyphen und Fukoiden (Flyschgesteine) entwickelt. Dies sind klastische Bildungen von rascher Sedimentation in sinkender Küstenzone am Fuße der in Auffaltung begriffenen Alpenkette. Ein fortwährender Wechsel der Abtragungs- und Ablagerungsbedingungen spiegelt sich in der sich stets rasch ändernden Sedimentsbeschaffenheit wieder. Die rasche Ablagerung hinderte die Entwicklung eines reicheren organischen Lebens, wodurch allein schon die Fossilarmut erklärt wird. Gleichzeitig hat sich im Bereiche der Kalkalpen in der Oberkreide mehr minder grobklastisches Material mit reicher Fossilführung abgelagert. Dies sind die Gosaubildungen.

Die nördlichen Ostalpen umfassen die Algäuer Alpen, die Nordtirolischen, die Salzburger und die Ober- und Niederösterreichischen Kalkalpen. An sie schließt sich im Norden eine schmale Zone von Flyschgesteinen an. In den im Süden der Zentralkette gelegenen Gailtaler und Karnischen Alpen, einem Teile der südlichen Kalkalpen, treten paläozoische und mesozoische, besonders triadische Schichten in reicher fazieller und faunistischer Entwicklung auf. Beide Zonen der Kalkalpen zeigen einen durch Verwerfungen und Überschiebungen überaus gestörten Bau, der heute erst in wenigen Gebieten geklärt, eine über-

sichtliche Deutung noch nicht ermöglicht (Fig. 229, 230). Dazu gehört die viel erörterte Auflösung der nördlichen Kalkalpen in eine Anzahl von Decken und ihr Verhältnis zu den Zentralalpen, sowie die Ansicht, daß diese aus mehreren übereinander liegenden großen Faltendecken bestehen und daß ferner die nördliche Kalkzone als eine ungeheure Schubmasse über die Zentralzone aus den Südalpen an ihren heutigen Platz geschoben worden sei (Fig. 81). Diese heute nicht spruchreifen Arbeitshypothesen werden sicher zu weiteren Versuchen anregen, das Rätsel des Baues der Ostalpen verständlich zu machen.

In der Oberkreide erfolgte eine Überflutung des böhmischen Festlandes, das heute noch im mittleren und östlichen Teile zusammenhängende Decken von mächtigem Plänermergel und Quadersandstein besitzt, der im Elbesandsteingebirge und anderwärts pittoreske Erosionsformen aufweist.

Im unteren Tertiär zog sich ein schmaler Meeresarm zwischen dem Außenrande der Alpen und dem Festlande im Norden hin und drang, Tiefenlinien folgend, noch weit in das Gebirge ein, das nur eine mäßige Höhe und noch kein dem heutigen ähnliches Relief besaß und als eine in den Umrissen wohl reich gegliederte, langgestreckte Insel aus dem Mittelmeere aufragte. Die Gebirgsbildung dauerte besonders mit seitlichen Bewegungen, Überschiebungen, vor allem in den Kalkalpen an und erlahmte erst im Miozän. Die Flyschbildung ging am Fuße der Küstenkette weiter vor sich, aber auch fossilreiche Kalke, Mergel und Sandsteine wurden in dieser Zeit an geeigneten

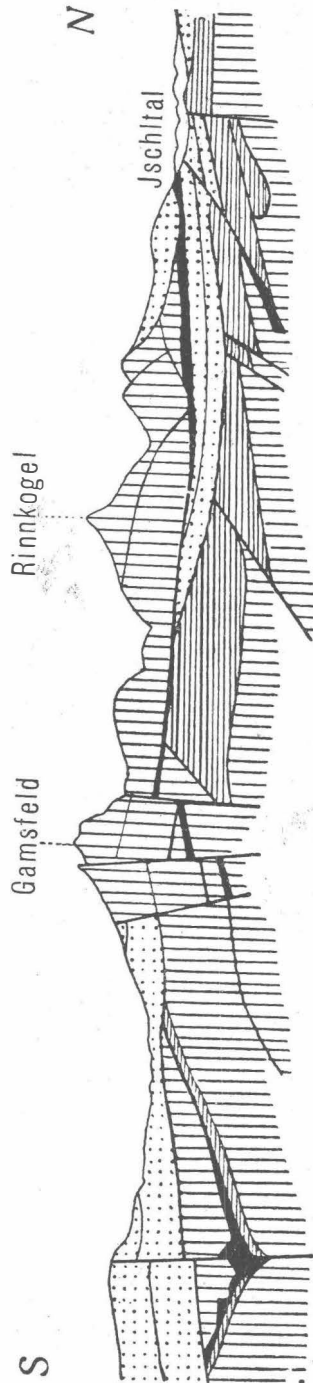


Fig. 229 Profil durch einen Teil der Kalkalpen des Salzkammergutes (nach E. Spengler). Trias (vertikal schraffiert) mit Werfener Schichten (schwarz) an der Basis, Jura (horizontal schraffiert) und Kreide (punktiert), durch Verwerfungen zerstückt und in Decken übereinandergeschoben.

Punkten abgelagert. Im Oligozän zog sich das Meer zurück. Im Vorlande wurde wohl bei sinkendem Grunde ein viele hundert Meter mächtiger, blaugrauer, meist fossilärmer, sandiger Mergel (Schlier) abgelagert, der Erdölspuren und große Mengen von Erdgas (Wels in Oberösterreich) enthält. Damals zogen die Alpen und Karpathen als ununterbrochener Zug dahin und waren an das Südende der Böhmisches Masse und an die Russische Tafel angepreßt und gestaut worden. Da-



Fig. 230 Aussicht westwärts vom Plassen auf den Gosauer Kamm (nach F. Simony). Im Vordergrund die weichen Gosauschichten der Kreide, im Hintergrunde triadische Kalkberge, rechts in der Ferne der Hochkönig.

durch erhielten sie den leicht S-förmigen Verlauf, mit der Beugung in der Nähe von Wien. Durch diese entstanden die quer zum und im Streichen des Gebirges liegenden Brüche, an denen später der Niedbruch dieser Schollen erfolgte. Auch die Flyschzone zeigt einen sehr verwickelten Bau in mehreren Schuppen und sie ist an ihrer Südgrenze von den Kalkalpen in einem noch nicht festgestellten Ausmaße überschoben (Fig. 231).

Die Erosion war seit dem Oligozän auf dem böhmischen Festlande wieder tätig und hat die wohl schon seit alten Zeiten bestehenden reich verzweigten Flußnetze weiter ausgearbeitet, die im Waldviertel und westwärts bis nach Bayern und nordwärts nach Mähren sehr deutlich

erhalten sind und denen auch die Durchbruchstäler der Donau in der Wachau und im Strudengau angehören. Dies ist das vormiozäne Relief, dessen Ausbildung wohl weit zurück reicht.

Dann ist in die Senke des Vorlandes das untermiozäne Meer eingedrungen und reichte schließlich am Rande der Böhmisches Masse bis in eine Höhe von etwa 520 m und seine Ablagerungen haben das alte Relief zugedeckt und vor der Zerstörung bewahrt. Heute wird dieses noch durch die Abtragung der leicht zerstörbaren Deckschichten bloßgelegt, nachdem bereits Hunderte von Metern mächtige Sedimente entfernt worden sind.

Das Meer brachte eine neue Tierwelt mit sich, die sich schon sehr der des heutigen Mittelmeeres nähert. Ein schmaler Meeresarm erstreckte sich zwischen der Küste des böhmischen Festlandes und dem Außensaume der Alpen und reichte nach Westen in das Rhônebecken und in das Mittelmeer und nach Osten über Mähren und Oberschlesien nach Galizien. Wir sprechen daher von dem Außer-alpinen Wienerbecken, dessen Ablagerungen an vielen Stellen, besonders in der Gegend von Eggenburg reich entwickelt, als geringe Abtragungsreste auf dem Urgebirge liegen. Man kann an den aufeinanderfolgenden Sedimenten das Tieferwerden des Meeres erkennen. Grobe Granitsande mit großen *Pectines*, Austern, *Pinna*, *Perna*, Korallenstöcken werden von feinen Sanden von *Lidotypus* überlagert, in denen eine reiche Vergesellschaftung von kleinen, dünnschaligen, grabenden Muscheln eingebettet ist und über ihnen liegt ein aus Lithothamnien,

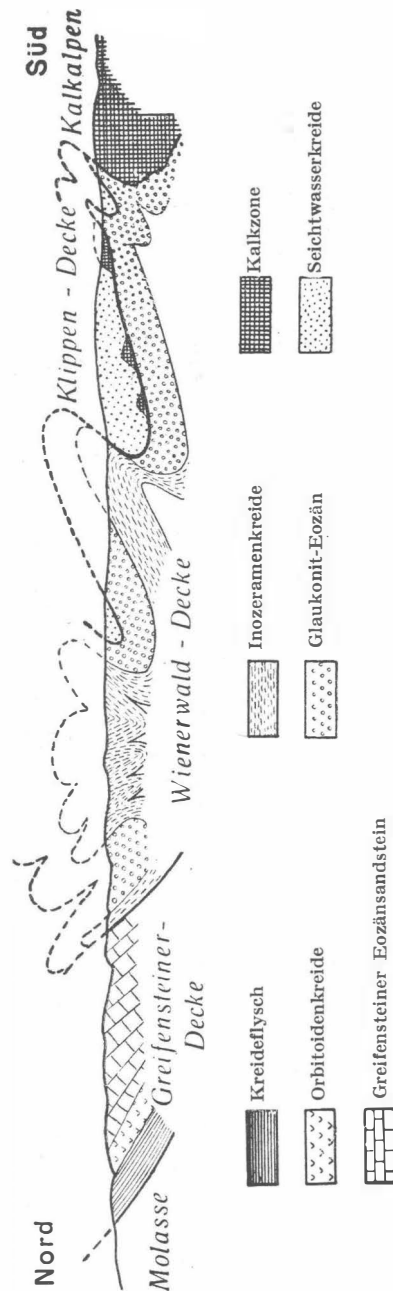


Fig. 231 Profil durch die Flyschzone bei Wien, den Deckenbau zeigend (nach K. Friedl).

Bryozoen und Muschelgrus gebildeter Kalkstein, der als feste Decken die darunter liegenden lockeren Bildungen geschützt hat. Er ist der Baustein der Wiener Gothik.

Dann sank der Meeresspiegel und in der Meerenge wurden weiter die Mergel und sandigen Tone des Schlier bei sinkendem Grunde abgelagert, während an anderen Punkten überaus fossilreiche Sande mit einer Konchylienfauna, die viele neue Formen enthält, gebildet wurden. Dies sind die Grunderschichten vom Teiritzberge bei Korneuburg, Niederkreuzstetten u. a. O., eine jüngere Stufe darstellend. Stellenweise breiteten sich Süßwasserseen mit Kohlebildung aus. Damals wurde die Meeresverbindung nach Oberösterreich und über Mähren nach Nordosten unterbrochen.

In dieser Zeit begann der Niederbruch der Nordalpen zum Inneralpinen Becken (Fig. 232) an der Stelle, wo sie aus der Westost- in die Nordostrichtung übergehen. Dies erfolgte an Brüchen, die quer zum oder im Streichen des Gebirges liegen. Das eigentliche Becken von Wien wird im Westen von der Bruchlinie von Baden, die von Gloggnitz nordwärts verläuft und im Osten von der Leithalinie, die von demselben Orte längs des Leithagebirges nach Nordosten hinzieht, begrenzt. Beide sind durch das Auftreten von zum Teil schwefelhaltigen Thermen ausgezeichnet (vgl. S. 62). Das Becken setzt sich nördlich von der Donau nach Mähren fort. Die Stadt Wien liegt also an einer Bruchlinie und nicht am Außenrande der Alpen und unter ihr sind hauptsächlich die Kalkalpen begraben. Auch die Kleine Ungarische Tiefebene ist damals erst niedergebrosen und das Leithagebirge und die Hundsheimerberge haben als Reste der abgesunkenen Zentralzone wohl als Inseln aus den Fluten aufgeragt.

Im Inneralpinen Becken bestand ein Süßwassersee, in dem Kohlen abgelagert wurden (Pitten, Hart bei Gloggnitz u. a.). Dann trat das Meer in das Becken ein, dessen Spiegel in etwa 450 m gelegen war und dessen fossilreiche Ablagerungen hier und im äußeren Becken mächtig entwickelt sind. Die alte Strandlinie ist am Westrande des Beckens in und südlich von Wien noch gut erhalten. Es ist dies eine jüngere Stufe, deren veränderte reiche Fauna in verschiedener Vergesellschaftung je nach der faziellen Ausbildung der Sedimente auftritt. In den Tegeln (Baden, Vöslau) finden wir eine Gesellschaft kleiner, zartschaliger, reichverzierter Muscheln und Schnecken, Einzelkorallen, kleine Seeigel und Foraminiferen, die ruhiges, bis etwa 200 m tiefes Wasser verraten: *Conus*, *Mitra*, *Columbella*, *Terebra*, *Buccinum*, *Cassis*, *Chenopus*, *Fusus* und *Pleurotoma* (beide sehr häufig), *Turritella*, *Natica*, *Dentalium*, *Corbula*, *Leda*, *Arca*, dünnschalige *Pectines* u. a. In den Sanden (Pötzleinsdorf, Gainfahn) stellen sich plumpere, dickschalige Formen, stockbildende Korallen, größere Seeigel und andere Foraminiferen ein. In den Konglomeraten und Kalken des Litorals (Leithakalke genannt), treten große Seeigel wie *Clypeaster*, große Austern und *Pectines*, *Spondylus*, *Pectunculus*, *Pholadomya* und bohrende Formen auf. Diese festen

Gesteine sind am Gebirgsrande südlich von Wien und im Leithagebirge in zahlreichen Brüchen aufgeschlossen und liefern hauptsächlich den Wiener Baustein.

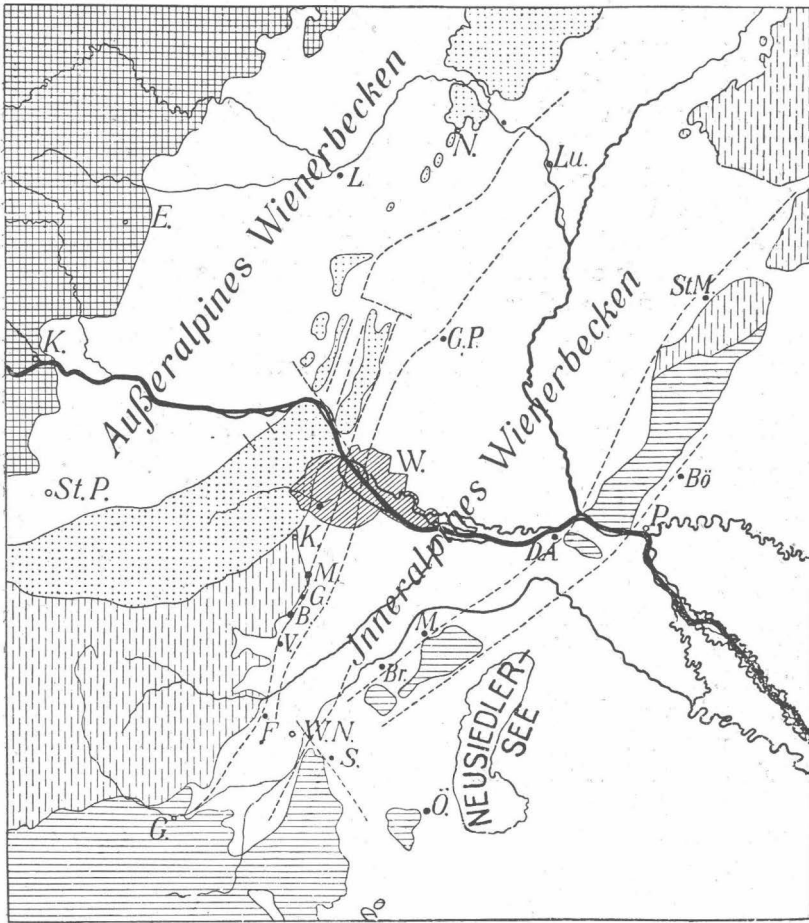


Fig. 232 Geologische Skizze der Umgebung von Wien. Kariert = Böhmisches Massiv, horizontal schraffiert = Zentralzone der Alpen und Karpathen, senkrecht gestrichelt = Kalkzone, punktiert = Flyschzone. Die gestrichelten Linien geben die wichtigsten Bruchlinien an. W. = Wien, St. P. = Sankt Pölten, K. = Krems, E. = Eggenburg, L. = Laa, N. = Nikolsburg, Lu. = Lundenburg, G. P. = Groß-Pyrawarth, St. M. = St. Miklos, B. ö. = Bösing, P. = Preßburg, D. A. = Deutsch-Altenburg, M. = Mannersdorf, Br. = Brodersdorf, W. N. = Wiener-Neustadt, S. = Sauerbrunn, Ö. = Ödenburg, G. = Gloggnitz, F. = Fischau, V. = Vöslau, B. = Baden, G. = Gumpoldskirchen, M. = Mödling, K. = Kalksburg.

Die Flyschzone setzt sich jenseits der Donau im Bisamberg und Rohrwald und in den Klippenbergen nach Nikolsburg und in das Marsgebirge fort. Die Kalkzone taucht in den Kleinen Karpathen wieder auf. Die Zentralzone setzt sich durch das Leithagebirge und die Hundsheimer Berge in die Kleinen Karpathen fort.

Im oberen Miozän wurde ein Meeresteil, der aus der Gegend von Wien bis über den Aralsee reichte, vom Weltmeere abgeschnitten und teilweise ausgesüßt (Sarmatisches Binnenmeer) (Fig. 199). Es wurden wieder Tone, Sande und Kalke gebildet, die eine verarmte marine Fauna einschließen, wie *Maetra*, *Tapes*, *Cardium*, *Rissoa* und vor allem *Cerithium* (Cerithienschichten, Sarmatische Stufe). Dann wurde die Bucht von Wien ein Teil des Pannonischen Beckens, in dem die Aus-süßung weiter fortschritt (Pontische Stufe) (Fig. 202). Die Konchylilienfauna enthält fast nur mehr Congerien und Melanopsiden (Congerienschichten). Sie gehört schon dem Pliozän an. Lignitflöze sind wie bei Zillingdorf eingeschaltet. Dann erfolgte die Auflösung des Beckens in kleine Wasserflächen mit einer Süßwasserfauna mit *Paludina* (Paludinenschichten, Levantinische Schichten) und mit der Senkung des Wasserspiegels infolge überwiegenden Abflusses des Sees durch das Eiserne Tor bei Orsova wurden an dessen Ufern, wie auch bei Wien, Terrassen von 200 bis 50 m Höhe über der heutigen Donau geschaffen, auf denen die Urdonau ihre Schotterdecken ablagerte. Diese Terrassen, die das Kahlengebirge entlang ziehen, geben der Stadt die amphitheatralische Lage, einen der Hauptreize ihres Bildes. Damit überwiegen in unserer Gegend die Wirkungen des fließenden Wassers, dessen Bildungen im jüngeren Pliozän vorwiegend vertreten sind. Damit erfolgte eine weitgehende Ausräumung des Beckens durch die Erosion, die in der Quartärzeit durch die bedeutend gesteigerte Wasserführung der Flüsse rasch erfolgte. Flußterrassen, meist in etwa 30 und 15 m und Lößdecken sind die oberflächlichen Bodenbedeckungen aus dieser Zeit.

Nördlich von der Donau setzen sich die marinen, sarmatischen und pontischen Bildungen weit nach Mähren fort und in dieser jüngsten Stufe sind auch dort ausgedehnte Lignitlager gebildet worden.

Sachverzeichnis

- Abdrücke 97, 98
Abietineen 163
Abkühlungsspalten 25, 28
Ablagerung 38, 76, 91
Abrasion 64
Absatzgesteine 76, 94
Abschuppung 38
Absonderungsfläche 25, 77
Abtragung 38, 45
Abtragungsgebirge 54
Abyssisch 93
Adern 22
Adneterkalke 165
Aepiornis 171
Ätna 35
Agrogeologie 42
Akrothermen 61
Algen 131
Algonkium 126, 127
Allochthon 84
Allosaurus 151
Alluvium 172, 184
Alpen 113, 165, 203
Alpine Faltung 165
Altertum der Erde 126
Altwasser 52
Alunit 34
Alveolinen 170
Alveolites 173
Ammoniten 130, 155, 163, 167
Ammonitenkalkstein 99
Ammonoideen 132, 140
Amphibien 128, 152, 171
Amphibolite 124
Anthrazit 84
Anastropfen 17
Andesit 30
Angiospermen 131, 149
Anhydriische Gesteinsgruppe 126
Anisische Stufe 159
Anstehend, Gestein 44
Anthracotherium 171
Anthropoiden 171
Antiklinale, Antikline 108
Aptychen 169, 198
Areg 74
Aragonit 80
Araucaria 155, 163
Arcestes 155
Archaeopteryx 97, 149, 164
Archaikum 126, 127
Archegosaurus 147
Arealeruptionen 26
Armorikanisches Gebirge 142
Artesischer Brunnen 58
Ås (spr. Os) 71
Asche, vulkanische 29
Aseismisch 122
Asphalt 86
Asteroiden 7
Astraeiden 155, 165
Atlantis 169
Atlantosaurus 164
Atoll 89
Auelehm 92
Auen 50
Auflagerungsfläche 77
Augensteine 57
Aufschluß, geologischer 110
Augitit 31
Aurignacmensch 192
Auskeilen 77
Austrocknungssprünge 38
Auswürflinge 29
Autochthon 84
Azoische Gesteinsfolge 126

Badener Tegel 202
Bänke 77
Bärlappgewächse 128, 139, 143
von Baersches Gesetz 53
Barchan 74
Barrière-Eis 71
Barysphäre 11
Basalt 30, 31
Batholithe 22
Becken von Wien 202
Belemniten 153, 156, 163, 167
Belemnoideen 130
Bellerophonkalk 149

- Bergfeuchtigkeit 58
 Bergkompaß 100
 Bergkreide, Bergmilch 70
 Bergrutsche 45
 Bergschläge 112
 Bergschlipfe, Bergstürze 45
 Bernstein 176
 Beuteltiere 164, 187
 Bienenwabenstruktur 38
 Bimsstein 29
 Biolithe 77, 83
 Bitterwässer 61
 Bitume 86
 Blastoideen 132
 Blattverschiebung 107
 Blaue Erde 176
 Blockgipfel, Blockmeer 42
 Blockhalde 89
 Blocklava 28
 Blocklehm 91
 Blockstrand 63, 93
 Blockströme 45
 Blockverwitterung 26, 43
 Blütenpflanzen 165
 Blutregen 73
 Bodeneis 72
 Bodenfließen 45
 Bodenkriechen 39
 Böden 42
 Böhmische Masse 196, 199
 Bohnerze 44
 Bomben 29
 Bonebeds 88
 Borax 80
 Brachiopoden 130, 132, 134, 154, 155,
 163
 Brachiosaurus 151, 154, 164
 Brandungskehle 63
 Brauner Glaskopf 81
 Braunkohle 84
 Breccien 90
 Brontosaurus 151, 154
 Bruchfelder 105
 Brüche, Bruchflächen 102
 Brückenechse 171
 Bryozoen 165, 170
 Buchensteinerschichten 160
 Buntsandstein 158, 160
 Burdigalien 180
 Butzen 83

 Calamiten 128, 143
 Caldera 27
 Capriniden 154
 Cardita-Schichten 160
 Carnallit 79

 Cassianerschichten 160
 Cephalopoden 129
 Cephalopodenkalke 160, 198
 Ceratites 155
 Cerithienschichten 204
 Chamiden 154
 Chamsin 73
 Chilesalpeter 80
 Chromosphäre 4
 Clymenien 132, 141
 Congeria 181
 Congerienschichten 204
 Conularien 130
 Cycadeen 147, 149, 155, 163
 Cycadofilices 143
 Cycadophyten 131, 155
 Cystoideen 132

 Dachsteinkalk 160, 198
 Dämonelix 98
 Daonella 155
 Dasycladaceen 155
 Dazit 30
 Decken 106, 114
 Deckenergüsse 36
 Deckschollen 107
 Deflation 73
 Delta 48
 Dendriten 82
 Depressionen 105
 Devonformation 126, 138, 197
 Detritus 38
 Diabas 30
 Diagenese 94
 Diagonalschichtung 77
 Diatomeen 155
 Dicotylen 170
 Diluvium 49, 172, 184
 Dinoceraten 171
 Dinosaurier 131, 150, 157
 Dinotherium 171, 183, 184
 Diorit 26
 Diplodocus 151, 164
 Diplopore 155
 Diploporenkalk 160
 Dipnoer 128, 131, 141, 153
 Diskordant 110
 Dislokation 100, 102, 103
 Dislokationsmetamorphose 112
 Dimetrodon 147
 Dinornis 171
 Dogger 161
 Dolomit 90
 Donau 201
 Druckbreccie 103, 112
 Drainierte Gebiete 40

Dromatherium 150
 Druckmetamorphose 112
 Dryas 187
 Dünen 63, 74
 Durchbruchstäler 54
 Dynamometamorphose 112, 122
 Dyas 146

Echiniden 165
 Echinodermen 132
 Edelsalze 79
 Effusivgesteine 22
 Eidechsen 152
 Einsturztrichter 116
 Eisenocher 81
 Eiserner Hut 41
 Eisberge 70
 Eishöhlen 72
 Eisstaub 91
 Eis 65
 Eiszeit 184
 Eklogite 124
 Ekliptik 16
 Elch 187
 Elefanten 171, 184, 186
 Endfläche 53, 76
 Endmoräne 70
 Endseen 65
 Entwicklungslehre 2
 Eohippus 175
 Eozän 170, 172, 175
 Epeirogene 12, 113
 Epidotfelse 124
 Epizentrum 117
 Equiden Stammesreihe 171
 Equisetaceen 139, 155
 Erbsenstein 80
 Erdbeben 115ff.
 Erdbebengürtel 122
 Erdbrände 85
 Erden 43
 Erdfälle 116
 Erdgas 86
 Erdgezeiten 15
 Erdinneres 16
 Erdöl 86
 Erdpfeiler 47
 Erdwachs 87
 Erdwärme 13
 Ergußgesteine 22, 29, 31
 Erosion 37, 47, 76
 Erosionsgebirge 54
 Erosionsseen 65
 Erstarrungsgesteine 21
 Eruption 26
 Erzgänge 23

Fuechinoideen 130
 Eustatische Bewegungen 102
 Euzoische Schichtfolge 125, 127
 Exhalationen 28
 Exhumierte Landschaft 56, 76
 Exotische Blöcke 111

Facettengeschiebe 70, 75
 Fältelung 110
 Fallen 100, 101
 Falte 108ff.
 Faltendecke 109
 Faltengebirge 112, 113, 114
 Farne 140, 149, 155
 Faserige Struktur 112
 Fastebene 53
 Faustkeilkultur 193, 194
 Faultiere 171, 187
 Fazies 45, 94
 Fazies der Landschaft 76
 Fazieswechsel 158
 Felsarten 8
 Felsenmeere 42
 Fenster 107
 Ferner 66
 Feuersteine 88
 Firn 66
 Fische 153, 171
 Fjorde 71
 Flachmoore 83
 Fladenlava 27
 Fleischfresser 171
 Flexur 105
 Fließstruktur 25, 27, 112
 Flint 88
 Flöze 77
 Flugsand 73
 Flugsaurier 151
 Flußbildungen 91, 92
 Flußschlingen 52
 Flußterrassen 204
 Flutwall 89
 Fluvial 91
 Flysch 169, 176, 198, 200, 203
 Foraminiferen 130, 132, 155, 165, 170
 Formationskunde 125
 Fossile Landschaftsformen 76
 Fossile Regentropfen 47
 Fossilien 95, 96
 Fuge 77
 Fukoiden 133
 Fumarolen 35
 Fungiden 155, 165
 Fusulinen 132, 144

- Gabbro 26
Gänge 22
Gangamopterus 147
Ganggesteine 22
Gangtonschiefer 103
Ganoiden 128, 141, 153, 171
Gare 25
Gastropoden, 130, 131, 132, 154, 167, 170
Gebankt 77
Gebirge 54, 112
Gebirgsfeuchtigkeit 58
Gebirgsschläge 112
Gefälle 49
Gefäßkryptogamen 131
Gefrittet 28
Gehängeknie 71
Gehobene Gebirge 112
Gekröselava 27
Gekrösestein 41, 79
Gel 88, 94
Geothermen 14
Geomorphologie 1, 2
Geosynklinale 13
Germanisches Becken 195
Gerölle 49
Geschichtet 77
Geschiebe 49
Geschiebelehm 70
Geschleppt 105
Gesteine 8, 44
Gesteinsbildung 37, 38
Gewölbe 108
Geysir 60
Gezeitenbremsung 16
Gigantotraken 130
Ginkgo 131, 155, 163
Gipsschlote 40
Glasmeteoriten 21
Glaubersalz 80
Gleitfläche 103
Gletscher 66ff.
Globigerina 165
Globigerinenschlick 93
Glossopteris 147
Glyptodon 171
Gondwanaland 149
Goniatiten 130, 132, 135, 141
Gosauformation 169, 198
Graben 105
Grabentäler 54
Granatfelse 124
Granit 25, 84
Granitgneise 21
Granulite 124
Graptolithen 130, 132, 135
Grauwackenzone der Alpen 197
Grestenerschichten 165, 198
Grobkalk von Paris 176
Grubenfeuchtigkeit 58
Grünschiefer 30
Grundeis 72
Grunderschichten 202
Grundlawine 66
Grundmoräne 69
Grundwasser 54
Guano 87
Gürteltiere 187
Gura 73
Gutenstetinerkalk 160, 198
Gymnospermen 128, 163
Gyroporella 155

Hängetäler 52
Härte des Wassers 55
Haff 63
Haifische 128, 141, 153, 171
Hakenwerfen 39
Halbaffen 171
Halbwüsten 47
Halemaumau 35
Hallstätterkalk 157, 160, 198
Hamada 73
Hangendes 77
Harnisch 103
Haselgebirge 79, 160, 198
Hauptdolomit 160, 198
Hawaii 35
Helvetien 180
Hepatisch 120
Hexakorallen 130, 132, 154
Hierlatzkalk 165
Hipparion 171, 183
Hippurites 167
Hochwässer 49
Höhlenbär 186, 192
Höhleneis 72
Höhlenhyäne 187
Höhlenlöwe 186
Hohldrüsen 82
Holzachat 99, 100
Hornsteine 88, 155
Horst 105
Huftiere 171
Humusboden 43
Humussäuren 40
Hydratisierung 41
Hydroisohypsen 55
Hydrosphäre 9
Hypozentrum 116

- Ichthyosaurier 131, 152, 157, 164
 Iguanodon 151
 Infusorienerde 88
 Ingressionsküste 102
 Inkohlung 83
 Inlandeis 70
 Inoceramen 165
 Insekten 128, 131, 171
 Interglazial 188
 Intrusion 22
 Inundationsgebiet 50
 Inverse Lagerung 108, 109
 Isoklinalfalte 109
 Isostatisch 12
- Jaspis** 155
Jungtertiär 172
Juraformation 126, 155, 161, 164
Juvenil 46, 59
- Känozoische Formation** 125, 169, 172
Kaledonisches Gebirge 134
Kalisalze 79
Kalk 88
Kalkalgen 149, 170
Kalkalpen 199
Kalkkaskaden 81
Kalkmilch 89
Kalkoolithe 80
Kalksinter, Kalktuff 81
Kambrische Formation 126, 133
Kamele 171
Kantengeschiebe 75
Kanyons 53
Karbonformation 126, 142
Kare 39, 71
Karnische Stufe 159, 160
Karren 40
Karseen 65
Karstlandschaft 56
Karsttrichter 41
Karstwässer 56
Kaskaden 51
Kataklasstruktur 112
Katastrophen 17
Kerbspitze 194
Kernsprünge 38
Kesselbrüche 105
Kettengebirge 113
Keuper 158
Kieselguhr 88, 184
Kieselkalke 155
Kieselschiefer 88
Kieselspongien 155
Kieserit 79
Kilauea 35
- Kimberlit** 31, 37
Klastisch 38, 91
Kliff 63
Klimazonen 157, 170
Klingstein 30
Klippen 107, 111
Klippenberge bei Wien 203
Kluftflächen 102
Kluftwässer 59
Knochenfische 153, 167, 171
Kochbrunnen 60
Kössener Schichten 160
Kohle 83
Kohlenflöze 155
Kolkung 51
Kollektivtypen 171
Kolloide 94
Konglomerate 90
Koniferen 128, 131, 143, 147, 149, 155, 163
Konkordant 110
Kontakt 22, 24
Kontinentalböschung 10
Kontinentalschollen 12
Kolke 51
Kopffüßer 129
Koprolithe 88
Korallen 155, 163
Korallenriffe 170
Korallensand 89
Korn 49
Korrasion 38, 45, 46, 51, 70
Kosmischer Staub 70, 91
Kosmogen 91
Krakatau 33
Krater 26
Kratzer 193
Krebse 153
Kreideformation 126, 155, 165, 168
Kreuzschichtung 78
Krinoiden 163
Kristallinische Schiefer 123
Kristallkeller 82
Krokodile 152
Kryokonit 20, 70, 91
Kryptogamen 128
Küstendrift 63
Küstendünen 75
Küstenriff 89
Kuppengebirge 113
- Ladinische Stufe** 159
Längsverwerfung 105
Lagergänge 24
Lagerung 109
Lagune 63

- Lakkolithe 22
Lakustre Sedimentation 92
Lamellibranchiaten 130, 132, 154, 155,
163, 167, 170
Lapilli 29
Lasse 77
Laterit 42
Laufvögel 171
Lava 27
Lawinen 65
Leitformen 95
Leithagebirge 202
Leithakalke 202
Leitlinien 109
Lemminge 187
Lemuria 162
Lemuriden 171, 187
Lepidodendron 128, 140
Lepidophyten 128, 143
Lesesteine 42
Leuzitsyenit 26
Levantinische Stufe 204
Lias 161, 165
Liegendes 77
Lignit 84, 204
Liman 63
Limnische Sedimentation 92
Limonit 81
Liparit 29
Lithogenese 2
Lithologie 2
Lithosphäre 9
Lithothamnien 170
Löß 75, 92, 191, 204
Lokalschotter 50
Luft, Tätigkeit der 73
Lunzer-Sandstein 160, 198
Lycopodiaceen 143
Lytoceras 167
- Machairodus 171
Madreporiden 155
Mäander 52
Magma 9, 12
Magnetismus 18
Magnetometer 18
Makroseismisch 115
Malm 161
Mammut 96, 171, 186
Marin 91, 93
Marmor 124
Massengesteine 21
Massive, Rumpfgebirge 113
Mastodon 171, 183, 184
Mauna Loa 35
Meer 62
- Meeresalgen 133
Meeresbildungen 91, 93
Meermühlen 57
Megalodus 155
Megatherium 171
Melanopsis 181
Melaphyr 30
Mendeldolomit 160
Mensch der Eiszeit 190ff.
Metamorphose 122
Meteoriten 4, 18
Metopias 152
Mesozoische Formation 126, 149
Mikroseismisch 115
Miliolideen 170
Mineralgänge 83
Mineralkohlen 83
Mineralmoore 84
Miozän 172, 179
Mittelalter der Erde 126
Moa 171
Mofetten 28, 35
Molasse 176
Moldanubische Masse 196
Molukkenkrebs 128
Monocotylen 170
Monotis 155
Moor 83
Moravische Zone 197
Moränen 68, 69
Moränenlandschaft 71, 188, 191
Morphogenie 76
Morphologie 76
Mosasaurier 131, 167
Moschusochse 187
Mulde 108
Mumifizierung 97
Muren 45, 48
Muschelkalk 158
Muscheln siehe Lamellibranchiaten
Mutterlaugensalze 78
Mylonit 104
- Nadelhölzer 143, 155
Nagelfluh 94
Nahbeben 118
Naosaurus 147
Napfsprünge 38
Naphtha 86
Naßgallen 80
Natronsalpeter 80
Naturbrücken 57
Nautiloideen 129, 130, 154
Neandertalrasse 192, 193
Nehrung 63
Neogen 172

- Neokrinoideen 130
 Nephelin 31
 Neozoische Formation 125
 Nephelinsyenit 26
 Nerinea 167
 Nester 83
 Neuzeit der Erde 125
 Nife 11
 Nilpferd 187
 Norische Stufe 159, 160
 Nummulites 170, 173
 Nunataker 70
 Nutation 16, 192
- Oasen 74**
 Obsidian 29
 Oligozän 172
 Olivinfelse 26
 Öllinien 86
 Ölspringer 86, 87
 Ontologische Methode 125
 Oolithe 81
 Operculina 170
 Orbitoides 165
 Orbitolina 165
 Orbitolites 173
 Orogene 13, 113
 Orthogneis 124
 Orthothermen 59
 Ortstein 43
 Ostrea 155
 Oxydation 41
 Ozokerit 87
- Packeis 72**
 Paläogeographie 2
 Paläoklimatologie 2
 Paläokrinoideen 130
 Paläolithikum 192, 193
 Paläontologie 2,
 Paläophytologie 96
 Paläozoische Formation 126
 Paläozoologie 96
 Paleozän 172
 Palmen 149
 Paludinarschichten 204
 Pannonischer See 181, 182
 Panther 187
 Panzerfische 128
 Panzerlurche 147
 Paragneis 124
 Pareiasaurus 147
 Passatstaub 73
 Pechstein 29
 Pegmatit 26
 Pelagisch 93
- Pelagogen 12
 Peleischer Typus 31
 Peles Haar 36
 Peles Tränen 36
 Periphere Gebiete 47
 Permformation 126, 146
 Petrefaktenkunde 95
 Petrographie 1, 2
 Phlegraische Felder 34
 Phonolith 30
 Photosphäre 4
 Phyllit 123
 Phylloceras 155, 167
 Phylogenie 2
 Pilzfelsen 43
 Pinacoceras 155
 Pingen 116
 Pisolith 80
 Plakodermen 128, 131
 Planeten 6
 Plankton 93
 Plateaulandschaften 36
 Plattelschotter 50
 Plazentale Säugetiere 170
 Pleistozän, Plistozän 184
 Plesiosaurus 152, 157, 164
 Pliozän 172, 180, 181, 204
 Plutonische Gesteine 21
 Pluvialzeit 185
 Polarmagnetisch 18
 Pole, magnetische 18
 Polierschiefer 88
 Poljen 57
 Polschwankungen 16, 192
 Pontischer See 181, 182
 Porenvolumen 55
 Polyhalit 79
 Poritiden 155
 Porphyr 30
 Präzession 16, 192
 Präzipitatgesteine 76, 78
 Prallufer 52
 Primaten 171
 Produktuskalk 148
 Profil 77
 Protuberanzen 5
 Pseudomorphose 97
 Pteranodon 151
 Pterodactylus 151
 Pterophyllum 147, 155
 Pterosaurier 131
 Pulsationen 115
 Pyroxenfelse 26
 Pyroxengranit 25

Quadersandstein 169
Quartärformation 125, 184
Quarzite 124
Quarzporphyr 30
Quellen 35, 56ff.
Quellkuppen 28
Quellseen 64
Quelltümpel 56
Querfaltung 110
Querspalten 68
Querverwerfung 105, 172

Radioaktivität 18
Radiolarien 155, 163
Radiolarienschlick 88
Radiolarite 88, 155
Radiolarienerde 88
Radiolites 167
Raiblerschichten 160
Raseneisenerz 88
Recoarokalk 160
Regelation 66
Regenrillen 47
Regression 101
Reibungsbreccie 103
Reibungsspiegel 103
Reiflingerkalk 160, 198
Relaisbeben 120
Reliktenfauna 65
Reliktenseen 65
Rentier 187
Reptilien 128, 150, 163, 171
Requienia 167
Rhät 155, 159
Rhamphorhynchus 151
Rhea 171
Rhinoceros 187
Rhynchonella 155
Rhyngocephalen 171
Riesengürteltiere 171
Riesenhirsch 186
Riesenkessel 63
Riesenkrebse 128
Riesenstraube 187
Riesentöpfe 51, 70
Riffbauende Algen 155
Riffkalke 160
Riffstein 89
Rillensteine 41
Rippelmarken 62
Rippeln 74
Roherde 43
Rohöl 86
Rothliegendes 146, 148
Rudisten 154, 165, 167
Rückengebirge 113

Rückland der Falten 110
Ruinenmarmor 42
Rumpfgebirge 113
Rutschfläche 103

Säbeltiger 171
Säkulare Bewegungen 102
Säuerlinge 61
Säugetiere, 131, 149, 167, 170, 171, 174,
183, 186
Sal, Sial, 11
Salz 79, 80
Salzseen 65
Salzsteppen 79
Salzstöcke 79
Samum 73
Sandbank 50
Sanddrift 75
Sande 49, 91
Sandsteine 90
Sandwüste 74
Sarmatisches Meer 181, 204
Saumriff 89
Sauropterygier 131
Schachtelhalmgewächse 128, 139, 143,
155
Schaltseen 65
Schelf 10, 64
Schelfeis 71
Scherlinge 111
Schicht 77, 108
Schichtfluten 48
Schichtfolge 77
Schichtköpfe 105
Schichtwasser 58
Schiefertone 123
Schieferung 112, 123
Schotterbett 50
Schildkröten 152, 157
Schlackenlava 28
Schlammgesteine 89
Schlammgesprudel 61
Schlammvulkane 86
Schlangen 152, 167
Schleppung 105
Schlerndolomit 160
Schlick 93
Schlote 26
Schmelzschupper 128
Schmitze 77
Schnabeltiere 187
Schnecken siehe Gastropoden
Schneelinie 65
Schollengebirge 112
Schornsteine 28
Schorre 62

- Schotter 90
Schotterbank 50
Schotterbett 92
Schratten 40
Schrattenkalk 169
Schreibkreide 168
Schreieralmkalke 160
Schubdecke 106
Schüttergebiet 116, 118
Schuppenstruktur 107
Schulter 71
Schutt 91
Schutthalden 45
Schuttkegel 48, 92
Schutzrinden 40
Schwarzkohle 84
Schwemmkegel 48
Schwereanomalie 12
Schwimmsand 59
Schwundspalten 39
Scythische Stufe 159
Sebcha 75
Sedimentationsklippen 111
Sedimente 77, 90, 91, 92, 95
Sedimentgneis 124
Seebeben 116, 119
Seeigel 17, 163
Seelilien 155
Seen 64, 65
Seigerung 29
Seismometer 118
Senkungsfelder 105
Septen 132
Sequoia 163, 170
Serac 68
Siegelbäume 128
Sigmoidale Beugung 108
Sigillarien 128, 140
Silberwurz 187
Silt 92
Silurformation 126, 134
Sima, 11, 12
Sinkstoff 50
Sipho 129
Soda 80
Solfataren 28, 34, 35
Solnhofen 150
Somma 33
Sonne 4
Spalten 102
Spaltenergüsse 26
Spaltwässer 59
Sphenodon 171
Spiegel 103
Spongien 163
Sprudel 60
Sprudelstein 80
Sprunghöhe 105
Staffelbruch 105
Stalagmiten 81
Stalaktiten 81
Stegocephalen 131, 147
Stegosaurus 151
Steineis 72
Steingletscher 45
Steinkerne 97, 98
Steinkohle 84, 85
Steinschlag 45
Steinzeit 192
Stirnwall 68, 70
Stoßstrahl 116
Störungen der Erdrinde 100, 102, 108, 110
Strand 64
Strandhalden 93
Strandlinie 101
Strandsee 63
Strandwall 62
Stratigraphie 2, 125
Stratosphäre 76
Streckungsriefen 112
Streichen 100, 101
Stromboli 35
Strudellöcher 70
Struktur der Gesteine 21, 22
Sturmwall 62, 89
Subaërisch 91
Subaquatische Rutschungen 121
Subfossil 96
Sumpferze 44
Suspension 50
Sserir 74
Syenit 26
Synklinale 108
Tabulaten 132
Taeniopteris 155
Tafelländer 113
Takyrboden 75
Taxodien 155, 170
Tektonik 100
Teleostier 131
Terebratula 155
Terra rossa 41
Terrassen 53, 191
Tephrit 31
Terrester 91
Tertiärformation 125, 172, 173
Tetrakorallen 130, 132
Thermallinie 62
Thermen 59 ff.
Theromorphen 131

Tiefeneruptionen 22
Tiefengesteine 21, 25, 31
Tiefenstufe, geothermische 14
Tiefseeeton 94
Tiersterben 167
Tillit 146
Tintenfische 153
Titanotherium 171
Tjäle 56, 72
Tobel 48
Tongesteine 91
Tonschiefer 123
Tonwüste 75
Torfmoore 83
Torrente 48
Tortonien 180
Trachyceras 155
Trachyt 30
Transgression 101, 161
Transversalschichtung 77
Transversalverschiebung 107
Trappgebirge 36
Travertin 81
Trematosaurus 152
Triasformation 126, 155, 159
Triceratops 151
Trigonia 155, 167
Trilobiten 128, 130
Tripel 88
Trockentäler 74
Trockenbildungen 91
Trocknungsrisse 29, 39
Trogtal 68, 71
Tromben 73
Tropfsteine 81
Tropites 155
Tsunamis 119
Tyrannosaurus 151

Uadis 74
Übergreifend 110
Überschiebung 103
Überschiebungsdecken 198
Überschwemmungsgebiet 50
Umformung, brüchige 112
Urgebirge 127
Urgeschichte des Menschen 192
Urgestein 127
Urstromtäler 72
U-Tal 68, 71

Vados 46
Variszisches Gebirge 142, 196
Vereisung 191
Verfestigung 38

Verflächen 100
Vergletscherung der Alpen 190
Verschiebungen der Strandlinie 101
Versteinerungslehre 95
Verwerfung 102, 103, 105
Verwerfungsquellen 58
Verwerfungstäler 54
Verwitterung 37ff.
Vesuv 33
Viehsteige 45
Vielfraß 187
Vitriolquellen 61
Vögel 131, 167, 171
Vogesen 196
Voltzia 147, 155
Vorland der Falten 110
Vormiozänes Relief 201
Vulkan 26, 27
Vulkanberge 26
Vulkanianischer Typus 33
Vulkanische Auswürflinge 91
Vulkanische Beben 116
Vulkanische Gesteine 22
Vulkanische Tätigkeit 31, 170
Vulkanogen 91

Wachau 201
Wadis 48, 74
Wälderton 169
Walchia 147
Wallriff 89
Wandern der Fazies 94
Wasser, Transport des 47, 49
Wasserfälle 51
Wasserhülle 9
Weald 169
Wechsel 103
Wechselagerung 77
Wellenfurchen 62
Werfener Schichten 159, 160
Wettersteinkalk 160, 198
Widmannstättensche Figuren 21
Wiederaufsetzen einer Schicht 77
Wiedergefrieren 66
Wiederholte Diskordanz 110
Wiener Becken 180, 201, 202
Wiener Sandstein 176
Wildbäche 48, 55
Wildbäder 61
Wildesel 187
Wildpferd 187
Wollsackverwitterung 26,
Wollsackstruktur 38
Wüstenlack 75

Wulstlava 27
Wurzelregion von Decken 111












Zahnwale 171
Zanclodon 157
Zechstein 146, 148

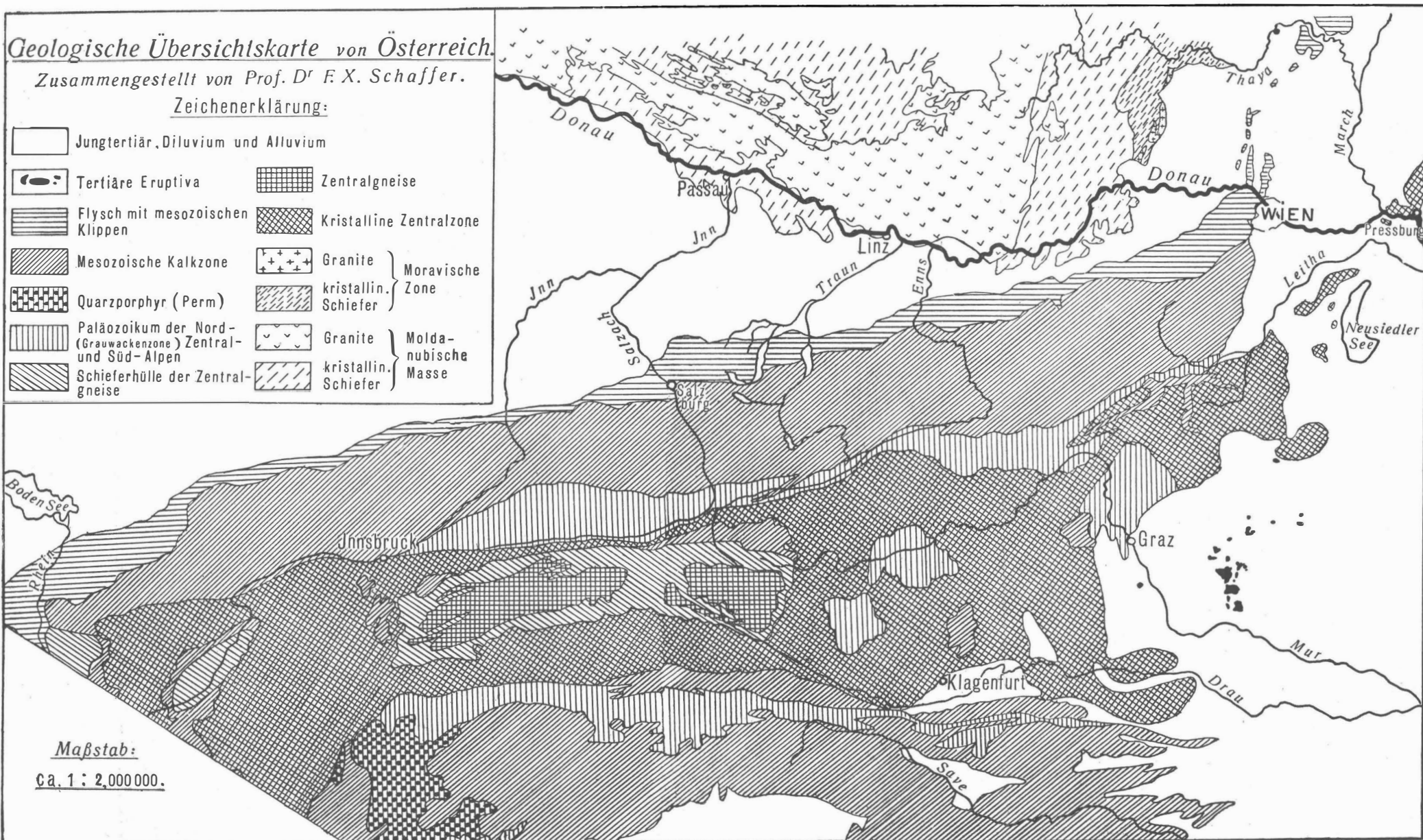
Zellenstruktur 39
Zentralgebiete 47
Zentraltiefe 118
Zentralzone der Alpen 197
Zirkusse 39
Zwischeneiszeit 188

Geologische Übersichtskarte von Österreich.

Zusammengestellt von Prof. Dr. F. X. Schaffer.

Zeichenerklärung:

	Jungtertiär, Diluvium und Alluvium		Zentralgneise
	Tertiäre Eruptiva		Kristalline Zentralzone
	Flysch mit mesozoischen Klippen		Moravische Zone
	Mesozoische Kalkzone		
	Quarzporphyr (Perm)		kristallin. Schiefer
	Paläozoikum der Nord- (Grauwackenzone) Zentral- und Süd-Alpen		Granite
		Schieferhülle der Zentralgneise	kristallin. Schiefer
			Moldanubische Masse



Maßstab:

Ca. 1 : 2,000 000.

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien

**Zur Morphologie der Gruppe der Schneebergalpen
(Schneeberg und Bax)**

Von Dr. D. Baedeker

IV und 100 Seiten. 1922. Preis M 1,20

Der Mensch im Eiszeitalter

I. Teil: Der Weg zur relativen Chronologie des Eiszeitalters

II. Teil: Entwurf einer historischen Geologie des Eiszeitalters

Von Josef Bayer,

Direktor der anthropologischen und der prähistorischen Abteilung des Naturhistorischen Museums in Wien

X und 452 Seiten auf Kunstdruckpapier

Mit 1 Tafel in Farbendruck und 220 Abbildungen im Text. 1927

Preis geh. M 24,—, geb. M 27,—

Der Autor gibt in diesem Werke in großen Zügen ein klares Bild von der Aufeinanderfolge der Ereignisse auf geologischem und paläontologischem Gebiete während des Eiszeitalters und schafft damit die wichtigste Voraussetzung für die Klarlegung der früheren Menschheitsgeschichte.

Der III. Teil: Der fossile Mensch und seine Kultur. In Vorbereitung

**Denkschriften des Naturhistorischen Museums
in Wien**

Band I: Geologisch-paläontologische Reihe 1

Die Mastodonten des Naturhistorischen Museums

Morphologisch-phylogenetische Untersuchungen

Von Dr. Günther Schlesinger, Wien

XX und 230 Seiten Quart und 36 Tafeln. 1921. Preis M 25,20

Band II: Geologisch-paläontologische Reihe 2

**Untersuchungen über die Tektonik der Lessinischen Alpen und
über die Verwendung statistischer Methoden in der Tektonik**

I. Teil, von Dr. Julius Pla

VIII und 230 Seiten Quart. Mit 61 Abbildungen im Text und 5 Tafeln. 1923

Preis M 20,—

Band III:

Gesteinsumformung

Von Dr. Walter Schmidt, Leoben

VIII und 64 Seiten Quart. Mit 12 Abbildungen im Text und 1 Tafel. 1925

Preis M 8,40

Grundzüge der Biostratigraphie

Von Dr. C. Diener,

o. ö. Professor an der Universität Wien

VIII und 304 Seiten. Mit 40 Textabbildungen. 1925

Preis geh. M 12,—, geb. M 14,50

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien

Der Artenwandel auf Inseln

und seine Ursachen, ermittelt durch Vergleich und Versuch an den Eidechsen
der dalmatinischen Eilande

Von **Paul Kammerer**

Nebst einem Anhang: Zur Systematik der adriatischen Insel-Eidechsen

Von **Dr. Otto Wettstein**

XIV und 324 Seiten. Mit 2 Kartenskizzen, 36 meist photographischen Abbildungen
und 8 farbigen Tafeln. 1926

Preis M 30,—, geb. M 33,—

Die Zusammensetzung der festen Erdrinde als Grundlage der Bodenkunde

Von **Dr. L. Milch**,

Professor an der Universität und an der Technischen Hochschule in Breslau

Zweite, umgearbeitete Auflage der Grundlagen der Bodenkunde

X und 254 Seiten. Mit 27 Abbildungen im Text. 1926. Preis M 10,—

Die Decapodenfauna der Adria

Versuch einer Monographie

Von **Dr. Otto Pesta**,

Kustos am Naturhistorischen Museum in Wien

X und 500 Seiten. Mit 3 Kartenskizzen im Anhang und 152 Figuren im Text

1918. Preis M 26,—

Bergbaue Steiermarks

Herausgegeben von

Dr. Karl A. Redlich,

o. ö. Professor der deutschen technischen Hochschule in Prag

X. Redlich, K. A., und Stanczak, W., Die Erzvorkommen der Umgebung von
Neuberg bis Gollrad

XI. Redlich, K. A., Der Erzzug Vordernberg—Johnsbachtal (I. Eisenerz, II. Rad-
mer, III. Johnsbachtal)

144 Seiten und 6 Karten

1923. Preis M 6,—