

46.397,80

Schwarz

LEITFADEN
DER
GEOLOGIE

FÜR MÄDCHENLYZEEN
UND VERWANDTE LEHRANSTALTEN

VON

DR. L. KOBER,

PRIVATDOZENT DER GEOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT IN WIEN.

MIT 86 FIGUREN IM TEXT.

MIT ERLASS DES DEUTSCHÖSTERR. STAATSAMTES FÜR UNTERRICHT
VOM 17. JÄNNER 1919, Z. 725-Xa, ALLGEMEIN ZUGELASSEN.

PREIS 5 K.



WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1919.

Verlags-Nr. 2093.

Druck- und Verlagshaus Karl Prochaska, Teschen.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
A. Allgemeine Geologie	3
I. Die Erde als kosmischer Körper	3
II. Die Gliederung der Erde	5
III. Bau und Zusammensetzung der Erdrinde	8
1. Allgemeines	8
2. Die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale	9
3. Die wichtigsten Gesteinsarten	9
a) Die Schicht- oder Sedimentgesteine	9
b) Die Erstarrungs- oder Eruptivgesteine	10
c) Die veränderten Gesteine	12
4. Die Lagerungsform der Gesteine	14
a) Die primären Lagerungsverhältnisse der Gesteine	16
b) Die sekundären Lagerungsformen	17
Die radialen Dislokationen	17
Die tangentialen Dislokationen	19
IV. Die geologischen Wirkungen des Wassers	21
1. Die chemischen Wirkungen des Wassers	22
2. Die mechanischen Wirkungen des Wassers	27
a) Die Tätigkeit des Süßwassers	27
Die Erosion	27
Die Talbildung	28
Die Denudation	30
Tätigkeit der Bäche, Flüsse, Ströme	30
Tätigkeit der Seen	32
Tätigkeit des Eises	34
b) Tätigkeit des Meeres	42
V. Die geologischen Wirkungen der Atmosphäre	45
VI. Die geologischen Wirkungen der Organismen	49
VII. Die vulkanischen Erscheinungen	52
VIII. Die Bewegungen der Lithosphäre	61
1. Erdbeben	62
2. Die kontinentalen Niveauschwankungen	64
3. Die gebirgsbildenden Vorgänge	67
B. Historische Geologie	70
I. Allgemeine Vorbemerkungen	70
II. Der Ursprung und das Sternenzeitalter der Erde	71
III. Die klimatischen Veränderungen der Erde	73
IV. Die Meere und Kontinente der Vorzeit	75
V. Die Faunen und Floren der Vorwelt	77

IV

	Seite
1. Die Pflanzen	77
2. Die Tiere	77
3. Die Erhaltung der Fossilien	78
4. Die Urzeit oder das Archaikum	81
5. Das Paläozoikum oder das Altertum der Erde	82
6. Das Mesozoikum oder das Mittelalter	90
7. Das Kaenozoikum oder die Neuzeit	94
Erklärung von Fremdwörtern	104

Einleitung.

Die Geologie ist die Geschichte der Entwicklung der Erde. Sie hat die Aufgabe, die Entwicklung des Planeten und seines Lebens von den Uranfängen bis auf den heutigen Tag zu erforschen. So wie die Geschichte des Menschen, so wird auch die Entwicklungsgeschichte der Erde in Abschnitte geteilt. Jeder dieser Abschnitte oder Formationen entspricht einer bestimmten Phase in der Entwicklung des Planeten. Viele solcher Phasen sind vom Ur-anfange bis auf unsere Zeit einander gefolgt, eine mit der anderen innig zusammenhängend. Die Gegenwart ist nichts anderes, als ein Ausschnitt aus der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten, eine von den vielen Phasen, der noch andere folgen werden.

Die Erde hat seit ihrer Entstehung viele Veränderungen erfahren. Die Verteilung von Wasser und Land war eine andere. Die Kontinente und Meere der Vorzeit hatten eine andere Lage, es war das Klima ein anderes, Pflanzen und Tiere anderer Art bevölkerten den Ozean und das feste Land. Tiefgehende Unterschiede trennen die heutige Welt von der damaligen.

Unermeßlich lange Zeiträume sind seit dem Bestehen der Erde verstrichen. Unermeßlich lange Zeiträume müssen vergangen sein, ehe auf der Erde das Leben entstand, und unermeßlich lange hat es gedauert, bis sich Pflanzen und Tiere bildeten. Und wieder mußten Äonen vergehen, bis das Leben auf der Erde jene Höhe der Entwicklung erreichte, die wir heute sehen. Erdumspannende Gebirge wölbten sich auf. Sie wurden im Laufe vieler Jahrtausende gänzlich abgetragen. Neue Gebirge entstanden. Auch sie wurden wieder eingeebnet und versanken in die Tiefe des Weltenmeeres.

Wenn wir heute ganz andere Lebewesen finden als in der Vorzeit, andere Ozeane und Kontinente, andere Gebirge, ein anderes Klima, so sind die jetzigen Verhältnisse des Planeten das Ergebnis eines langen Entwicklungsprozesses, der aber nicht als abgeschlossen zu betrachten ist, sondern noch in die ferne Zukunft hinein fort-dauern wird.

Das Leben eines Menschen ist von so verschwindend kurzer Dauer, daß er während seines Lebens größere Veränderungen der Erde kaum gewahr wird. Aber auch das Menschengeschlecht als Ganzes hat bisher ein viel zu kurzes Leben, als daß es bedeutende Umwandlungen der Erde selbst miterlebt hätte. Wohl berichten die heiligen

Bücher, die Völkersagen von großen Naturereignissen, die vernichtend auf den Menschen wirkten. Aber alle diese Erscheinungen, so verheerend ihre Wirkung für den Menschen ist, sind nur kleine geologische Veränderungen der modernen Verhältnisse.

Ungleich größer aber wird die Wirkung dieser Kräfte, wird die Veränderung des Antlitzes der Erde, wenn die ändernden Kräfte lange, unermesslich lange Zeiträume hindurch wirken, sie summieren sich dann, und die scheinbar kleinen Ursachen haben große Folgen. Nicht gewaltige Katastrophen, gewalttätige Umstürze haben die Erde verändert, nicht neue Schöpfungen sind immer wieder über den Gräbern der alten entstanden, langsam, allmählich unter dem Einflusse gleichwirkender Kräfte ist die Erde das geworden, was sie heute ist.

Die geologischen Verhältnisse der Erde in ihrem jetzigen Zustande sind also nichts anderes, als ein Ausschnitt aus der Entwicklungsgeschichte des Planeten, der Rahmen, in dem uns heute das Bild seiner Entwicklung sichtbar wird.

Wollen wir nun die Entwicklungsgeschichte der Erde erkennen lernen, so müssen wir die geologischen Verhältnisse der festen Erdkrinde genauestens erforschen.

Auf diesem Wege erfahren wir die geologischen Veränderungen, die sich im Laufe der Entwicklung abgespielt haben. Wir müssen die einzelnen Phasen genau in bezug auf ihren geologischen Zustand studieren. Aus der Aneinanderreihung der Geschichte jeder der Phasen erhalten wir die Gesamtgeschichte, die Geschichte der Entwicklung der Erde.

Es ist nun die Aufgabe der allgemeinen Geologie, die geologischen Erscheinungen der Erde zu erforschen, die Aufgabe der historischen Geologie oder der Erdgeschichte aber, die Aufeinanderfolge der verschiedenen geologischen Abschnitte oder Formationen und ihrer Lebewesen zu beschreiben. Sie wird daher auch Formationskunde genannt. Die allgemeine Geologie beschäftigt sich mit den geologischen Erscheinungen der Gegenwart, die historische Geologie dagegen mit der Vergangenheit, mit dem Werden des Planeten. So teilt sich die Geologie als Erdgeschichte in zwei große Gebiete.

A. Allgemeine Geologie.

I. Die Erde als kosmischer Körper.

In klaren Nächten sehen wir den Himmel von einer Unzahl von Sternen übersät. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die Wandelsterne oder die Planeten und die Fixsterne. Oft sehen wir auch Sternschnuppen den Himmelsraum durchheilen. Selten sind Kometen am nächtlichen Himmel zu sehen.

Die Fixsterne bilden Sternensysteme, die in sehr großen Abständen voneinander im Weltenraume sich befinden. Von der Erde stehen sie so weit ab, daß z. B. ein Lichtstrahl, der von der Erde zur Sonne in acht Minuten gelangt, zu dem Wege vom nächsten Fixsterne zu uns über $3\frac{1}{2}$ Jahre braucht.

Das Sonnensystem, dem auch unsere Erde angehört, bildet eine solche Gruppe, eine Einheit innerhalb der Systeme der Fixsterne.

Es setzt sich aus den Planeten und ihren Monden, den kleinen Planeten oder Planetoiden, den Kometen und den Meteoriten zusammen.

Das Zentralgestirn ist die Sonne. Sie ist der Mittelpunkt, um den sich die Glieder des Sonnensystems bewegen, und ihre Masse ist ungefähr 700mal größer als die aller Planeten.

Die Sonne ist ein sehr heißer Körper, dessen Temperatur auf der Oberfläche 6000—8000° geschätzt wird, mit einem Durchmesser, der 108mal so groß ist als der der Erde. Die Dichte der Sonne ist aber viermal kleiner als jene der Erde.

Unter den Gliedern des Sonnensystems spielen die Planeten die wichtigste Rolle. Wir unterscheiden äußere und innere Planeten, dazwischen die kleineren Planeten oder Planetoiden. Die Planeten bewegen sich alle in W-O Richtung in nahezu kreisförmigen Bahnen um die Sonne. Sie bestehen aus denselben Stoffen wie die Sonne, befinden sich aber in den verschiedensten Zuständen der Entwicklung. Die äußeren sind in einem Entwicklungszustande, der noch dem der Sonne ähnlich ist, dagegen sind die inneren viel weiter fortgeschritten, wie am deutlichsten die Erde bezeugt.

Die inneren Planeten sind: Merkur, Venus, Erde, Mars, die äußeren: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Die Planetoiden sind kleine kosmische Körper, die in großer Zahl zwischen den äußeren und den inneren Planeten liegend die Sonne umkreisen. Es sind wahrscheinlich die Trümmer zerstörter Planeten.

Die Kometen sind nicht Abkömmlinge der Sonne, sondern gleichsam Gäste im Sonnensystem, die von außen her auf ihrer Wanderung im Weltenraum eindringen, vom Sonnensystem festgehalten wurden und seitdem die Sonne in langen Bahnen umkreisen. Es sind ungewein dünne meist gasförmige Körper.

Die Meteoriten sind wahrscheinlich die Trümmer zerstörter Planeten. Als winzige kosmische Körper umkreisen sie die Sonne, kreuzen zeitweise in ihrem Laufe die Bahn der Erde und werden dabei von ihr angezogen. Sie nähern sich mit planetarischer Geschwindigkeit der Erde. Gelangen sie in ihrem Fluge in die Atmosphäre der Erde, so werden sie infolge des Widerstandes in der Luft glühend. Sie erscheinen am Himmel dann als Sternschnuppen, als Leuchtkugeln, in der Luft unter heftiger Detonation und Aufleuchten zerspringend. Die Meteore gliedern sich in die Eisenmeteoriten und in die Steinmeteoriten. Jene bestehen hauptsächlich aus Eisen und stammen wahrscheinlich aus dem Kern, diese dagegen sind Gesteine aus der oberflächlichen Erstarrungskruste zerstörter Planeten. Sie sind Erstarrungsgesteine.

Die Erde ist der dritte innere Planet. Ihre Gestalt ist die einer Kugel, mit einer Abplattung an den Polen und einer Anschwellung am Äquator. Die Erde dreht sich um die Sonne. Wir verspüren nichts von dieser Bewegung, trotzdem wir uns mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 30 *km* in der Sekunde um die Sonne bewegen.

Der Trabant der Erde ist der Mond. Sein Durchmesser ist etwas mehr als $\frac{1}{4}$ des Erddurchmessers, das Volumen $\frac{1}{49}$, die Dichte etwas größer als 3. Der Mond weicht in seiner Beschaffenheit vielfach von der Erde ab. Es fehlen dem Monde: die Luft, das Wasser, die Wolken, die Meere und das Leben. Der Mond ist ein erkalteter Planet. Mit freiem Auge sieht man auf seiner Oberfläche dunkle Flecken.

Die Entstehung des Sonnensystems sucht die Kant-Laplacesche Theorie zu erklären. Unser großer Philosoph Kant und nach ihm der französische Mathematiker Laplace gelangten, wahrscheinlich unabhängig von einander zu ähnlichen Anschauungen über die Bildung des Weltensystems. Beide stützten sich auf die Beobachtung, daß die Planeten und die meisten ihrer Trabanten sich alle in West-Ostrichtung um ihre Achse und auf elliptischen Bahnen um die Sonne drehen. Sie schlossen daraus, daß die Masse aller dieser Einzelkörper

früher in einem Gasball von hoher Temperatur vereinigt war, der sich von West nach Ost um eine Achse drehte.

Nach einem physikalischen Gesetz wächst in jedem drehenden Körper die Fliehkraft mit der Entfernung von der Drehungsachse. Daher hatten die Oberflächenpunkte des Gasballs nahe dem Äquator größere Fliehkraft als die in der Polnähe. Daraus folgte eine Abplattung an den Polen, eine Anschwellung zum Äquator hin, eine Ringbildung, die sich löste, aber nach dem Trägheitsgesetz weiter drehte. Durch Wärmeausstrahlung in den kalten Weltraum und Gruppierung der Bestandteile trat ein Zerreißen des Ringes und ein Zusammenballen ein. Ein Planet entstand. Von ihm spaltete sich ein Mond ab. Der Vorgang wiederholte sich. So bildete sich nach und nach das Sonnensystem, dessen Glieder sich um den Ursprungspunkt, die Sonne, drehen.

II. Die Gliederung der Erde.

Die Erde als Ganzes genommen ist keine einheitliche Masse. Sie besteht aus verschiedenen Zonen, die zueinander in innigem Wechselverhältnis stehen. Wir haben vor allem das Organisierte und das Anorganische zu unterscheiden. Das Organisierte bildet die Lebewelt der Erde, auch die Biosphäre genannt. Das Anorganische, die tote Materie setzt die Erde zusammen; ihre Stoffe sind entsprechend der Dichte von außen gegen innen in konzentrischen Schalen angeordnet. Wir können vier Zonen unterscheiden:

1. die Lufthülle oder die Atmosphäre;
2. die Wasserhülle oder die Hydrosphäre;
3. die feste Erdrinde oder die Lithosphäre;
4. das Erdinnere oder die Barysphäre.

Die Biosphäre oder die Sphäre des Lebens ist gebunden an die Atmosphäre, die Hydrosphäre und die Lithosphäre. Luft, Wasser und der feste Boden sind der Schauplatz des Lebens. Diesen verschiedenen Lebensbedingungen sind Pflanzen und Tiere angepaßt. Die Bewohner der Erde sind Luft-, Wasser- oder Landbewohner, die des Wassers gliedern sich in Meeres- und Süßwasserbewohner.

Auf dem festen Lande als auch in den Meeren lassen sich Provinzen unterscheiden, die durch eine bestimmte Pflanzen- und Tiervergesellschaftung gekennzeichnet sind. Diese Verschiedenheiten in der Verbreitung des Lebens haben in klimatischen, geographischen und physikalischen Verhältnissen ihre Ursachen und sind mitbestimmend für die Geologie der Gegenwart, da die Pflanzen und Tiere insofern wesentliche geologische Faktoren sind, als sie an den Veränderungen der Erdoberfläche einen nicht zu unterschätzenden Anteil haben. Ganz besonders sind die Meerestiere als gesteinsbildende Organismen wichtig.

Die Atmosphäre umgibt als die äußere Hülle die feste Erdrinde. Ihre Dicke wird auf 400—500 *km* geschätzt. Die Atmosphäre wird gegen den Weltenraum zu immer dünner, desgleichen wird auch die Temperatur nach oben niedriger, und zwar im allgemeinen um 0.6°C auf je 100 *m*. Die Luft ist ein Gemenge von 4 Vol. Stickstoff, 1 Vol. Sauerstoff, dazu kommt in kleinen Mengen Kohlensäure und Wasserdampf. Die allgemeine Bedeutung der Atmosphäre liegt darin, daß sie die Bedingung zum Leben liefert, den Kreislauf des Wassers vermittelt.

Die Hydrosphäre umgibt die Erde als eine von Landmassen unterbrochene Zone, gegliedert in die Hydrosphäre der Kontinente und in jene der Ozeane. Erstere bildet das süße Wasser, letztere das Meer.

Dieses füllt die großen ozeanischen Becken aus. Es sind dies große breite Wannen, die sich zwischen den einzelnen Kontinentalmassen einsenken, mit einer durchschnittlichen Tiefe von 3500 *m*. Das Meerwasser hat infolge des hohen Salzgehaltes eine größere Dichte. Das Licht dringt nur bis in die Tiefe von 400 *m* ein, in allen Tiefen darunter herrscht Finsternis. In Tiefen von 700 bis 1000 *m* herrscht im allgemeinen eine Temperatur von 4°C . In den großen Meerestiefen, wie überhaupt auf dem Boden der Ozeane ist die Temperatur noch niedriger. Dies ist bestimmend für die Lebewelt des Meeres. Pflanzen, also Algen, können überhaupt nur an der Oberfläche fortkommen, da sie des Lichtes bedürfen. Die Tiere leben in verschiedenen Tiefen, angepaßt den verschiedenen Bedingungen des Meeres. Am Strande lebt eine andere Tiergesellschaft als auf dem hohen Meere, an der Oberfläche eine andere als in der Tiefe. Hier sind sie dem hohen Drucke der über ihnen lastenden Wassersäule und der Finsternis angepaßt. Alle diese Verhältnisse sind geologisch bedeutsam.

Das Meer ist keine ruhende Wassermasse, sondern befindet sich in steter Bewegung. Durch die Anziehung des Mondes und der Sonne entsteht ein Heben und Senken des Wassers, Ebbe und Flut, d. h. die Gezeiten des Meeres. Dazu kommen noch die Meeresströmungen. Diese sind, wie der Golfstrom, für die klimatischen Verhältnisse, für die Lebensbedingungen einzelner Länder oder Meere maßgebend.

Die Lithosphäre oder die feste Erdrinde ist der eigentliche Schauplatz, auf dem sich so viele Vorgänge abspielen. Wir müssen uns denken, daß die Lithosphäre als eine Schale von vielleicht 100—200 *km* Dicke den inneren Teil der Erde umgibt, eine Schale, die aus leichteren Gesteinen aufgebaut ist als das Innere, aus Gesteinen mit der Dichte etwa 3, bestehend aus Erstarrungsgesteinen, hervorgegangen aus den Tiefen des Innern, und aus Schicht- oder Sedimentgesteinen. Große Strecken sind vom Meere bedeckt. Über dem Wasserspiegel erheben sich die Kontinente nur wenig. Die durchschnittliche Höhe der Kontinentalschollen ist etwa 800 *m*. Könnten wir die Bedeckung des Meeres entfernen, so

würden auf der Kugel tiefe Wannen erscheinen. Das sind die Ozeane. Zwischen ihnen liegen breite Schollen, jäh aus der Tiefe steigend, es sind die Kontinente. Ihre Oberfläche ist flach, einförmig, wenig über den Meeresspiegel steigend. Die hochgelegenen Plateaus, die Hochgebirge sind verschwindend schmale Zonen von größerer absoluter Höhe. Nach Berechnungen liegen 50% der Lithosphäre unter 3000 Meter, mehr als die Hälfte der Erdoberfläche wird vom Tiefboden der Ozeane eingenommen.

Die größten Tiefen bis 9000 *m* liegen aber nicht in der Mitte der Ozeane, sondern am Rande gegen die Kontinentalschollen. Solche außerordentlich große Tiefen ziehen entlang der Ostseite von Asien und an der Außenseite der australischen Kontinentalscholle. Sie bezeichnen die wirkliche Grenze von Weltmeer und Kontinent

Als Ganzes betrachtet erscheint die Erde als Wasserkugel, aus der größere und kleinere Kontinentalmassen herausragen. Besonders groß ist die Anhäufung von Wasser auf der südlichen Halbkugel. Es gibt nur ein Weltmeer und darin liegen die Landmassen. Um den Nordpol scharen sie sich. Gegen Süden zu gehen sie immer mehr auseinander, dabei grenzen sie sich mit mehr oder weniger nord-südlich laufenden Linien gegen das Meer hin ab und weisen auffallende Dreiecksgestalt auf. Südamerika und Afrika bilden deutliche Beispiele. Die Spitze des Dreieckes liegt im Süden. Europa und Asien bilden die Alte Welt. Mit ihr hängt durch weite untermeerische Rücken Australien zusammen. Isoliert liegen die neue Welt und die Antarktis, das Land des Südpols. Trotz aller großen Veränderungen von Land und Meer kommt dieser Teilung der Lithosphäre in die tiefen Ozeane, in die breiten Schollen der Kontinente große geologische Bedeutung zu. Diese Verhältnisse haben ein hohes Alter. Die Kontinentalmassen waren von jeher die Geburtsstätten von Faunen und Floren, sie sind die Heimstätten, auf denen durch lange geologische Epochen hindurch allmählich und langsam das Leben sich fortentwickeln konnte, von wo aus es seine Wanderungen angetreten hatte. So sind Nordamerika, Nordasien, Australien, Afrika der Ausgangspunkt von Entwicklungsreihen des Lebens gewesen.

Die Oberflächenabgrenzung zwischen Land und Meer ist nicht die tatsächliche Grenze zwischen dem Tiefboden der Ozeane und den Kontinentalmassen. Die Zone, die noch vom Meere bedeckt ist, doch nur wenig unter Wasser liegt, gehört noch zur Kontinentalmasse. Sie wird die Litoralzone der Kontinente genannt, zieht sich oft vom Festland noch weit hinein in das Meer als untermeerischer Rücken fort, erst in Entfernungen von 100—200 *km* ist die tatsächliche Grenze gegen den Ozean. Hier beginnt der jähe Abfall in die Tiefe.

Das Innere der Erde, der Erdkern, auch die Pyrosphäre oder Barysphäre genannt, ist eine eigene Zone der Erde. Dort sind die Gesteine geschmolzen, als sogenanntes Magma vorhanden, Lösungen,

die gegen das Innere zu wahrscheinlich infolge des hohen Druckes in Gasmassen von solcher Dichte übergehen, daß sie sich ähnlich verhalten wie feste Körper. Gegen das Innere der Erde zu nehmen auch die schweren Stoffe überhand. Sicher ist, daß die tieferen Partien schwerer sein müssen als die oberen, denn die mittlere Dichte der Erde ist 5·6 und die Oberflächengesteine haben bloß die Dichte 2—3. An der Oberfläche herrschen hauptsächlich die Verbindungen der Kieselsäure. Diese bilden die starre Schichtzone, vielleicht 100—200 *km* mächtig, dann folgt die Magmazone, hauptsächlich aus Si und Mg bestehend, dann der Kern, bestehend aus Cr, Ni, Fe mit einer mittleren Dichte von 8·5, von außerordentlich großer Starrheit, $\frac{3}{4}$ — $\frac{4}{5}$ des Erdradius einnehmend. Die Temperatur wird für den Kern mit etwa 3000° angegeben, der Druck wird auf einige Millionen Atmosphären geschätzt.

Diese inneren Zonen des Planeten sind für die Oberfläche von ausschlaggebender Bedeutung. In diesen Tiefen liegt der Herd all der elektrischen und magnetischen Strömungen, die die Erde durchziehen. Die Eigenwärme der Erde ist gering im Vergleich zu den großen Wärmequellen der Sonne. Doch auch die Eigenwärme der Erde ist als Energiequelle von Bedeutung. Während an der Oberfläche die Temperatur der Luft herrscht, nimmt gegen das Innere die Temperatur zu. Von örtlichen Abweichungen abgesehen, ist die Zunahme stetig und beträgt 1° C auf etwa 33 *m*. Diese Einheit nennt man die geothermische Tiefenstufe. Im Bohrloch von Czuchow in Oberschlesien wurde in der Tiefe von 2221 *m* 83·4° C gemessen.

III. Bau und Zusammensetzung der Erdrinde.

1. Allgemeines.

Die feste Erdrinde oder die Lithosphäre bildet eine vielleicht 100—200 *km* starke Schale um die inneren Zonen, hauptsächlich aus Kieselsäure und ihren Verbindungen bestehend. Es ist die feste, harte Oberflächenkruste der Erde.

Von den 80 jetzt bekannten Elementen beteiligt sich nur eine ganz geringe Anzahl in der Zusammensetzung der Gesteine. Es sind von den sogenannten nicht metallischen Stoffen: Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Chlor, Schwefel, Fluor, Phosphor und Stickstoff; von den metallischen: Silicium, Aluminium, Eisen, Mangan, Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium, Baryum, Titan, Zirkon und Chrom. Der Sauerstoff bildet etwa die Hälfte der ganzen Erdrinde, das Silizium etwas mehr als ein Viertel.

Aus diesen Grundstoffen setzen sich die Gesteine zusammen. Diese sind Gemenge oder Aggregate von Mineralien.

2. Die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale.

Die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale sind:

1. die Oxyde,
2. die Silikate,
3. die Haloide,
4. die Sulfate,
5. die Karbonate,
6. die Phosphate,
7. die Elemente.

Zur ersten Gruppe gehört: Quarz, Opal, Magnetit, Limonit, Zirkon. Die zweite Gruppe bilden: 1. die Gruppe der Feldspate, 2. die Gruppe der Amphibole und 3. die Gruppe der Olivine. Den Haloiden gehören an: Flußspat und Steinsalz, den Sulfaten: Anhydrit, Gips, den Karbonaten: Kalzit, Aragonit und Dolomit, den Phosphaten: Apatit, den Elementen: der Graphit.

Dazu kommen noch die Eisenerze, wie Roteisen, Eisenkies oder Pyrit und ferner noch die Mineralstoffe organischen Ursprungs, so das Erdöl (Petroleum, Naphta), das Erdwachs, Asphalt, Anthrazit und Kohle und endlich noch das Eis.

3. Die wichtigsten Gesteinsarten.

Alle Gesteine, die wir auf der Erde treffen, gliedern wir in:

1. Schicht- oder Sedimentgesteine,
2. Erstarrungs- oder Eruptivgesteine,
3. Veränderte Gesteine (kristalline Schiefer, Kontaktgesteine und Mylonite).

a) Die Schicht- oder Sedimentgesteine.

Die normalen Schicht- oder Sedimentgesteine sind aus den Verwitterungsrückständen der Erstarrungsgesteine hervorgegangen. Sie sind entstanden durch Transport, Trennung und Wiederabsatz anderer Gesteine, sie sind von Pflanzen und Tieren auf dem Boden des Festlandes und des Meeres gebildet worden. Es sind lose oder verfestigte Massen, aus feinem oder groben Materiale bestehend, einheitlich aufgebaut oder wie die Schotter ein buntes Gemenge von verschiedenen Gesteinen. Bezeichnend für alle diese Gesteine ist, daß sie ursprünglich in mehr oder weniger horizontaler Ablagerung entstanden sind, in Schichten oder Bänken aus dem Wasser oder auf dem Lande sich absetzten, daß in ihnen die Lebewesen der vergangenen Perioden eingeschlossen liegen. Die Sedimentgesteine sind Absatzgesteine, deren Zusammensetzung aus den Rückständen früherer Gesteine das bezeichnendste Merkmal ist. Sie werden deswegen auch als sekundäre Gesteine bezeichnet.

Man kann unterscheiden:

Konglomeratische und sandige Gesteine, grob- bis feinkörnige Trümmergesteine. Hieher gehören die Konglomerate und

Breccien. Die Konglomerate bestehen aus mannigfachen gerundeten Bestandteilen (Geröllen), die Breccien dagegen aus eckigen Trümmern. Die Schotter, Sande und Sandsteine sind auch hieher zu rechnen. Quarzit, Arkosen und Grauwacken sind Gesteine, bestehend aus Quarz, Feldspat und Glimmer, hervorgegangen aus älteren Erstarrungsgesteinen oder auch Sedimentgesteinen, verkittet auf festem Lande oder in der Strandzone des Meeres.

Vulkanische Tuffe sind die Auswürflinge aus Vulkanen, die sich auf trockenem Boden oder unter Wasserbedeckung (Tuffite) meist geschichtet in der Nähe von Vulkanen absetzen.

Tongesteine entstehen aus feldspathaltigen Gesteinen auf festem Lande und im Wasser (Ton, Lehm, Löß, Mergel).

Kalk und Dolomit, Kalkmergel, Kalktuff und Kalksinter sind unter den Schichtgesteinen häufig. Sie wechseln mit Tongesteinen, in die sie übergehen, auch mit sandigen; meist handelt es sich dabei um Absätze aus dem Meere, um Bildungen, die ihr Dasein Organismen verdanken. Unter den Pflanzen spielen Algen, unter den Tieren die Korallen eine große Rolle als Kalkbildner.

Kieselgesteine sind Kieselsinter, Hornstein und Opal.

Gips- und Salzgesteine: Anhydrit, Gips und Steinsalz.

Erzgesteine: Roteisenstein und Brauneisenstein.

Kohlengesteine sind: Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit. Steinöl und Asphalt gehören hieher. Es handelt sich hier ebenfalls um organogene Bildungen.

b) Die Erstarrungs- oder Eruptivgesteine.

Sowie die Schichtgesteine eng miteinander verbunden sind, wie die Kalke in die Mergel, diese wieder in Sande, Kiese und Konglomerate übergehen, so finden sich auch die Erstarrungsgesteine untereinander in engster Verbindung. Ein Gestein geht in das andere über, und dieses steht wieder mit einem dritten in engstem Zusammenhange. Überall finden sich die Übergänge zwischen den einzelnen typischen Gesteinen, so führt der Granit über in den Syenit, dieser wieder in den Diorit. Der innige Zusammenhang ist die Folge einer gemeinsamen Abstammung aus demselben Magmaherde.

Alle Eruptivgesteine stammen aus der Magmazone. In ihr befinden sich alle Gesteine im Schmelzflusse. Von hier aus dringen sie in die Lithosphäre ein, durchbrechen sie und gelangen so auf die Oberfläche. Auf Spalten, Kanälen dringen sie in die Höhe und ergießen sich aus den Kratern der Vulkane als flüssige Lavamassen oft über weite Strecken der Oberfläche. Die Gesteine, die aus dem Ergüsse der Lava entstehen, nennt man Ergußgesteine, zum Unterschiede von den Tiefengesteinen, die in der Tiefe der Erdrinde erstarren. Beim Aufdringen einer Magmamasse in die Erdrinde werden Teile der Gesteine eingeschmolzen, die umliegenden Schichtgesteine werden

von Adern, Gängen durchsetzt. Es entstehen die Spaltungs- oder Ganggesteine, und im Kontakte mit den Gesteinen der Umgebung die Kontaktgesteine. Diese zeigen an der Stelle des Durchbruches des Eruptivgesteins die Einwirkung der Magmen, die das alte Gestein umwandeln, d. i. kontaktmetamorph verändern.

Je nach der Tiefe, je nach dem Druck und dem Grade der Abkühlung geht die Verfestigung der Erstarrungsgesteine verschieden vor sich. Bei hohem Druck, in großer Tiefe und allmählicher Erkaltung entsteht aus demselben Magma ein anderes Gestein als bei niedrigem Druck, rascher Erstarrung, wie das z. B. an der Oberfläche der Fall ist.

Ein Magma, das in der Tiefe bei hohem Druck und hoher Temperatur erstarrt, zeigt eine gleichartige Ausbildung der einzelnen Mineralindividuen. Es entsteht eine körnige Struktur, wie wir das an dem Granit sehen, und die einzelnen Minerale zeigen Kristallform.

In höheren Zonen herrscht geringer Druck und niedrigere Temperatur. Hier eilen einige Minerale in ihrer Bildung aus dem Schmelzflusse den anderen voraus, sie entstehen gleichsam unter günstigeren Bedingungen und zeigen darum eine bedeutendere Größe als die andern bei vollständiger Ausbildung der Kristallform. Diese Mineralindividuen bilden die Einsprenglinge, die in einer Grundmasse liegen. Diese ist oft für das freie Auge fast dicht, oder ein ganz feines Gemenge, in dem die Einsprenglinge eingebettet liegen.

Erstarrt ein Magma ganz plötzlich, so entstehen glasige, poröse oder sogar lose Gesteine: Obsidian, Bimsstein und vulkanische Asche.

Eine große Rolle spielen bei der Erstarrung des Magma auch die darin vorhandenen Gasmassen. Gasreiche Magmen neigen zu explosionsartigen Ausbrüchen des Magmaherdes, bei denen die Lavamassen unter hohem Drucke ausgeworfen werden und zersprätzen. Gasarme Magmen dringen weniger heftig an die Oberfläche und ergießen sich als Ströme über den Boden.

Die Erstarrungsgesteine werden unterschieden in basische und saure. Die letzteren enthalten 60—80^o Kieselsäure in Form von Quarz und sauren Feldspaten, die ersteren dagegen bloß 45—60^o Kieselsäure. Die basischen Gesteine haben meist dunklere Farben und größeres spezifisches Gewicht.

Die Eruptivgesteine sind überwiegend Silikatgesteine. Ihre Zusammensetzung ist eine gesetzmäßige, sowohl in bezug auf die allgemein chemische Zusammensetzung, als auch mit Rücksicht auf den Mineralbestand.

Durch diese Merkmale unterscheiden sich die Eruptiv- oder Erstarrungsgesteine scharf von den Schicht- oder Sedimentgesteinen.

Man kann die Massengesteine unterscheiden ihrer Zusammensetzung nach in

1. Quarzgesteine,
2. Feldspatgesteine,

3. Gesteine mit feldspatähnlichen Mineralien,
4. feldspatfreie Gesteine.

Die Quarzgesteine sind die sauren, sie bestehen aus Quarz, Feldspat und Glimmer. Hieher gehört als Tiefengestein der Granit, als Ergußgestein der Quarzporphyr, als glasiges Gestein der Obsidian.

Die Feldspatgesteine gliedern sich nach den zwei Hauptarten des Feldspats in die Orthoklas- und die Plagioklasgesteine. Zu den ersteren gehört der Syenit als Tiefengestein, bestehend aus Orthoklas, Hornblende und Glimmer, als Ergußgestein der Trachyt. Zu den Plagioklasgesteinen gehört als Tiefengestein der Diorit, zusammengesetzt aus Plagioklas und Hornblende, als Ergußgestein der Diabas, der Andesit und gewisse Basalte. Es sind bereits basische Gesteine.

Gesteine, die aus Feldspaten oder mit feldspatähnlichen Mineralien gebildet sind, sind: als Tiefengesteine der Nephelinsyenit mit Nephelin, und als Ergußgesteine der Phonolith und der Basalt mit Nephelin und Leuzit. Es sind ebenfalls basische Gesteine.

Feldspatfreie Gesteine sind die Peridotite, die aus Olivin mit Hornblende bestehen. Es sind die ganz basischen Tiefengesteine. Aus ihnen geht der Serpentin als Umwandlungsgebilde hervor.

c) Die veränderten Gesteine.

Eine Gruppe von Gesteinen ist dadurch ausgezeichnet, daß sie ihren ursprünglichen Charakter mehr oder weniger verloren hat. Sie verdanken ihr neues Aussehen späteren Einwirkungen. Diese Veränderungen sind hervorgerufen worden durch vulkanische Einwirkungen oder durch gebirgsbildende Vorgänge. Die erste Art der Veränderung nennt man die Kontaktmetamorphose, die zweite Dynamo- oder auch Regionalmetamorphose.

Die kontaktmetamorphen Gesteine sind im Kontakte mit Eruptivgesteinen verändert worden. Je nach dem Grade der Einwirkung ist die Metamorphose verschieden. Im einfachsten Falle zeigen sich Verbrennungserscheinungen, gleichsam Brandwunden am Kontakte, die Gesteine werden gefrittet. Ein Mergel wird im Kontakt mit einem Phonolit zu einem Hornfels, zu einem harten, splitterigen Gestein. Ein Sandstein z. B. wird rot gebrannt und zugleich in prismatische Säulen zerlegt. Bei größerer Einwirkung dagegen tritt eine Änderung des Gefüges ein, eine Neukristallisation und zugleich durch Austausch von Stoffen Neubildung von Mineralen — Kontaktmineralen. So wird aus einem Kalk ein Marmor mit Kontaktmineralen, z. B. mit Granat.

Durch die gebirgsbildenden Vorgänge, durch die Bewegungen in der Lithosphäre erleiden große und mächtige Gesteinskomplexe oft so gewaltige Veränderungen, daß sie ein völlig neues Aussehen erhalten. Auch hier geht eine äußere und eine innere Umwandlung vor sich. Ursprüngliche Schichtung geht verloren, dafür tritt eine neue falsche

Schichtung, die Schieferung, auf. Die Gesteine verlieren ihren früheren Zusammenhang, die Gefügeelemente werden neu gelagert, entweder rein mechanisch (das Gestein wird zertrümmert) oder aber, es tritt eine molekulare Umwandlung auf, das Gestein kristallisiert neu aus.

Es lassen sich zwei Typen unterscheiden:

1. die kristallinen Schiefer,
2. die Mylonite.

Die kristallinen Schiefer nehmen im Aufbau der festen Erdrinde große Gebiete ein. Charakteristisch für diese Gesteine ist die Schieferung, die durch Gebirgsdruck unter Bewegung bei höherer Temperatur entstanden ist. Diese Faktoren bedingen auch eine oft weitgehende Veränderung. Die kristallinen Schiefer finden sich in allen Teilen der Erdoberfläche, gewöhnlich in den tieferen Lagen der Erdrinde unter den normalen Gesteinen und sind früher allgemein für die ältesten Schichten der Erde gehalten worden. Man hat diese Schichten mit Rücksicht auf ihre tiefe Lage in der Erdrinde, auf ihre oft hohe Kristallinität und Fossilfreiheit sogar als Teile der Erstarrungskruste der Erde betrachtet. Allein diese Vorstellungen haben sich als unrichtig erwiesen. Für große Teile der kristallinen Schiefer ist nachgewiesen worden, daß sie keineswegs alte Gesteine sind, sondern im Gegenteil relativ jung. Dadurch wird unzweideutig erwiesen, daß diese kristallinen Schiefer erst später diese Erscheinungsform erhalten haben, durch Prozesse, die ganz unabhängig von ihrer Entstehung sich abgespielt haben.

Die kristallinen Schiefer sind veränderte Gesteine, Abkömmlinge von anderen Gesteinen, und zwar z. T. von Eruptivgesteinen, z. T. aber von Sedimentgesteinen.

Ganz besonders gilt dies für die Gneise, bestehend aus Quarz, Feldspat und Glimmer. Im Handstück erscheint der Gneis auf dem Querbruch oft durchsetzt von zerdrückten Augen von Feldspat, eingehüllt von dünnem Glimmerbelag. Die Schieferung ist im Gneis recht deutlich.

Der Gneis hat dieselbe mineralogische Zusammensetzung wie der Granit. Vom Granit zum Gneis gibt es viele Übergänge, die Granitgneis, Gneisgranit genannt werden. Umgekehrt sieht man wieder vom Gneis Übergänge zum normalen Sedimentgestein oder klastische Beschaffenheit in demselben, woraus klar hervorgeht, daß man es dann mit einem veränderten Sedimentgestein zu tun hat.

Die zweite Gruppe der kristallinen Schiefer sind die Glimmerschiefer, Gemenge von Quarz und Glimmer mit ganz besonders deutlicher Schieferung. Hierher gehören auch Kalkglimmerschiefer, ausgezeichnet durch einen höheren Gehalt an beigemengtem kristallinen Kalk.

Die dritte Gruppe sind die Phyllite. Es sind dünngeschieferte, oft glänzende und gefaltete Gesteine, die im allgemeinen den niedrigsten Grad der Metamorphose besitzen. Es sind noch wenig

veränderte ursprüngliche Ton-, Mergel- und Sandgesteine, die häufig auch mit diesen wechsellagern. Sie gehen nach oben hin über in die normalen Gesteine, nach unten meist in die höheren metamorphen Komplexe der Glimmerschiefer.

Diese drei Stufen sind nichts anderes als Grade eines Veränderungsprozesses, der entweder vom normalen Sediment zum Sedimentgneis führt über Phyllit und Glimmerschiefer, oder umgekehrt vom normalen Eruptivgestein, z. B. vom Granit zum Gneis und von da zum Glimmerschiefer.

Unter den veränderten Gesteinen spielen auch die Mylonite eine große Rolle. Wir verstehen darunter Zertrümmerungsgesteine, die an Brüchen oder an Überschiebungslinien in gefalteten Gebirgen häufig auftreten, gekennzeichnet durch die oft weitgehende Zerstörung ihres Gefüges. An Überschiebungslinien finden wir häufig Reibungsbreccien, Gesteine, die aus der Zertrümmerung anderer Schichten hervorgegangen sind, oft bunte Gemenge verschiedener Gesteine, meist erkenntlich durch die eckige Umrandung der einzelnen Trümmer. Innerhalb der Breccien haben die Bestandteile recht verschiedene Größe, Kopfgröße bis mächtige Blöcke. Ursprünglich war es ein Schutt, der an der Überschiebungslinie aus der Zertrümmerung der bewegten Schollen entstanden ist, später aber wurden diese losen Massen durch die zirkulierenden Wässer des Gebirges wieder verfestigt, und so ist ein neues Gestein entstanden.

4. Die Lagerungsform der Gesteine.

Man kann an vielen Gesteinen in Aufschlüssen oder an einer Felswand erkennen, daß das Gestein durch mehr oder weniger parallel laufende Fugen in einzelne Lager oder Bänke zerfällt. Bei Sedimentgesteinen ist diese Erscheinung oft besonders schön zu sehen. Man nennt das die Schichtung, die einzelnen Bänke die Schichten. Das wesentliche der Schichtung ist, daß die einzelnen Schichten voneinander durch gleichlaufende Schichtfugen getrennt sind, wobei die letzteren aus einem anderen Material bestehen als die eigentliche Schicht und gewöhnlich nur eine ganz feine sandige oder mergelige Zwischenlage darstellen. (Fig. 1.)

Schichtung findet sich nur bei Sedimentgesteinen, nie bei Eruptivgesteinen. Diese zeigen eine Absonderung in Form von Bänken, Lagen. Schichtung fehlt ebenso auch den veränderten Gesteinen. Diese zeigen Schieferung. Schichtung und Absonderung sind gleichsam ursprüngliche Merkmale der Gesteine, Schieferung dagegen ist eine später erworbene Eigenschaft. Aus der Schichtung erkennt man die Lagerung der Gesteine. Viele Gesteine haben ihre ursprüngliche Lagerung wenig verändert, andere dagegen sind später stark gestört worden, sie sind gebrochen, gefaltet und überschoben.

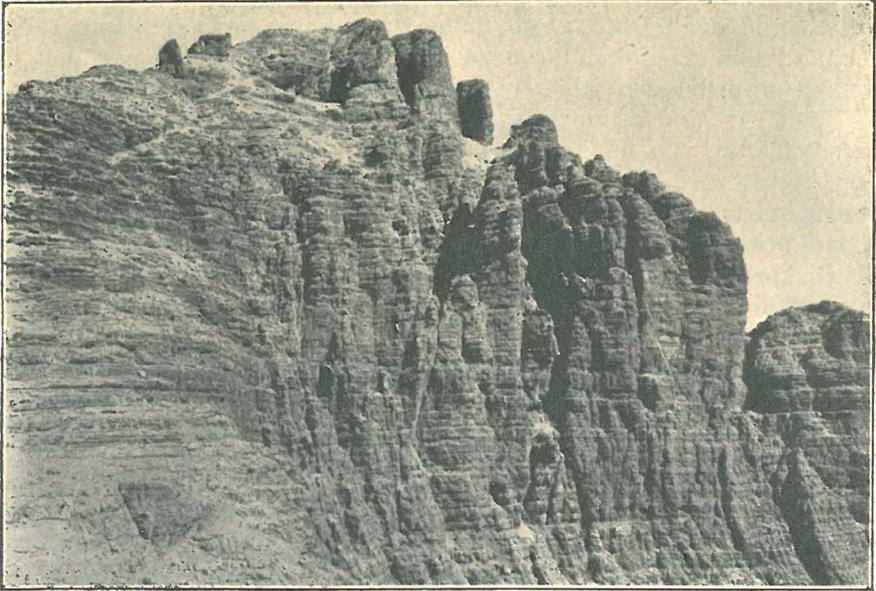


Fig. 1. Schichtung in den Dachsteinkalken des Pisiadu (2985 *m*) vom Bamberger Sattel aus.
Sellagruppe in Südtirol.
Photographie von E. Terschak.



Fig. 2. Diskordante Auflagerung von horizontalen Schichten über senkrecht
gestellte Schichten.
Box Cañon, N. Amerika, aus Chamberlin, Geology.

Wir unterscheiden daher die ursprüngliche Lagerung bei der Entstehung der Gesteine und haben von diesen primären Lagerungsverhältnissen die sekundären zu trennen, die wir heute an den Gesteinen wahrnehmen können.

Die Ablagerungen des Meeres werden als marine Bildungen unterschieden von den kontinentalen. Die Ablagerungen des Strandes werden Litoralbildungen genannt. Die Schichten in all den Ablagerungsgebieten werden horizontal abgesetzt; liegt Schicht auf Schicht ohne Lücke, so spricht man von einer konkordanten Schichtfolge. Bei Diskordanz liegt auf gefalteten und abgetragenen Schichten, gleichsam auf den Köpfen der Schichten, horizontal die neue Schichtgruppe. (Fig. 2.) Man spricht von einer Kreuz- oder Wellenschichtung, wenn innerhalb der Schichten ihre Teilchen einen wiederholten und unvermittelten Wechsel der Schichtungsrichtung zeigen, z. B. bei Sanden. Schichten wechsellagern miteinander, oder sie keilen aus, durch Übergänge miteinander verbunden.

a) Die primären Lagerungsverhältnisse der Gesteine.

Die Sedimentgesteine werden ursprünglich immer in mehr oder weniger horizontaler Lage gebildet. Ob eine Schicht auf dem Meeresgrunde entsteht oder auf dem festen Lande, immer werden die Gerölle, der Schlamm, der Sand, der Kalk mehr oder weniger horizontal abgesetzt, Schicht legt sich auf Schicht, immer getrennt durch das Zwischenmittel. Schichtung und Lagerung ist horizontal.

Ganz anders dagegen ist es bei den Eruptivgesteinen. Erstens fehlt die Schichtung, und zweitens ist die Lagerungsform der Eruptivgesteine überaus verschieden.

Zum Teil liegen sie als Ströme an der Oberfläche, zum Teil stecken sie in den Schichten, sie in verschiedenen Richtungen durchbrechend. Die Absonderung ist eine Folge der Abkühlung und steht mehr oder minder normal auf der Abkühlungsfläche.

Die Eruptivgesteine treten in Form von Stöcken, Gängen, Decken und Lagerströmen auf, und ihre Absonderungsform ist kugelig, säulenartig. (Fig. 33.)

Die Gänge und Stöcke durchbrechen die Gesteine, sie zeigen eine durchgreifende Lagerung. Gänge sind Ausfüllungen von Spalten und Klüften. Nehmen die Ausfüllungen von Hohlräumen unregelmäßige Gestalt und bedeutende Größen an, so spricht man von Stöcken. Lagerströme sind mächtige Eruptivmassen, die horizontal zwischen die Schichten eingelagert sind. An der Oberfläche breiten sich die vulkanischen Ergüsse in Form von Strömen aus, die, wenn sie groß und breit sind, Decken genannt werden. (Fig. 29, 38.)

Man unterscheidet verschiedene Absonderungsformen:

Die plattige: Das Gestein ist in parallelen tafelförmigen Platten oder Bänken abgesondert. Je schneller die Abkühlung des Eruptivgesteins erfolgt, desto stärker wird die plattige Absonderung, z. B. beim Granit.

Die prismatisch-säulige. Das Gestein ist in regelmäßige Säulen oder Prismen abgesondert. Sie ist besonders bei Basalten oft schön entwickelt.

Die kugelige. Es sondern sich konzentrisch-schalig gebaute Kugeln ab, die bald weiter voneinander abstehen, bald sich berühren. Die Größe der Kugeln ist verschieden. Sie finden sich bei Basalten und Diabasen. (Fig. 37.)

b) Die sekundären Lagerungsformen.

Die Schichtung ermöglicht die Lagerungsform eines Gesteins zu bestimmen. Wir wissen, daß die Schichten ursprünglich horizontal abgelagert werden. Sehen wir heute aufgerichtete, gefaltete Schichten, so schließen wir daraus, daß sie eine Störung ihrer primären Lagerung erlitten haben.

Alle Störungen, die wir an den Schichten erkennen, werden auf Bewegungsvorgänge in der Erdrinde zurückgeführt.

Das Ausmaß dieser Störungen ist recht verschieden. Man kann an Handstücken von Gneis oder Kalk Falten wahrnehmen, deren Bewegungsausmaß wenige Zentimeter beträgt. In Steinbrüchen sehen wir häufig stärker gestörte Schichten. Hier ist die Bewegung bereits in Metern zu messen. Noch gewaltiger aber wird das Ausmaß der Störungen in jungen Kettengebirgen, wie in den Alpen. Die Ursache sind Vorgänge im Innern der Erde, so die Abkühlung und die damit verbundene Kontraktion, die Eigenbewegung der Erdhaut auf der Magmazone. Dadurch entstehen Spannungen in der Erdrinde, die Bewegungen auslösen. Dislokationen spielen im Antlitze der Erde eine große Rolle, sie prägen einer Landschaft charakteristische Züge auf. Gefaltete junge Ketten erscheinen als Gebirge, Einbruchsbecken als weite Kessel oder Niederungen, flachgelagerte Gebiete als Ebenen.

Wir unterscheiden zweierlei Arten von Dislokationen (Bewegungen), die radiale und die tangentielle Dislokation.

Die radialen Dislokationen.

Sie sind Auf- oder Abwärtsbewegungen von einzelnen Teilen der Erdrinde längs Klüften oder Spalten. Die Bewegungen erfolgen in der Richtung des Radius der Erde. Es sind Hebungen oder Senkungen der Erdrinde. Seitliche Spannungen treten fast ganz zurück. Es erfolgt nicht ein Zusammenschub, ein Zusammenpressen, sondern ein Auseinanderzerren. Brüche, Hebungen und Senkungen gehen hervor aus einem Zerreißen der Erdrinde. Sie erfolgen hauptsächlich in Tafelländern, d. s. Gebiete mit auf weite Strecken hin flach liegenden ungestörten Schichten.

Verschieben sich zwei Stücke der Erdrinde — Schollen — in vertikaler Richtung gegeneinander, so entsteht, wenn die Schichten noch im Zusammenhange bleiben, eine Abbiegung. Zerreißt der Zu-

sammenhang der höheren Scholle mit der tieferen, so entsteht ein Bruch oder eine Verwerfung: Eine Scholle liegt tiefer als die andere. Die Höhe der Verwerfung nennt man die Sprunghöhe, sie bezeichnet den Abstand der stehengebliebenen Scholle von der gesunkenen. Sinken von einer Scholle mehrere kleinere in die Tiefe, so entstehen Staffelbrüche, es liegen die Schollen ähnlich wie die Stufen einer Treppe.

Wenn eine Scholle von großer Ausdehnung und mit mehr runderlicher Begrenzung einsinkt, so spricht man von einem Becken. Sinkt eine Scholle von großer Längserstreckung an mehr oder weniger parallelen Bruchlinien in die Tiefe, so entsteht ein Graben.

Becken (Kessel) und Gräben sinken meist mit Staffelbrüchen in die Tiefe. Ein Beispiel der ersteren Art ist das sogenannte inneralpine Becken von Wien, zwischen dem Wienerwald, dem Leithagebirge

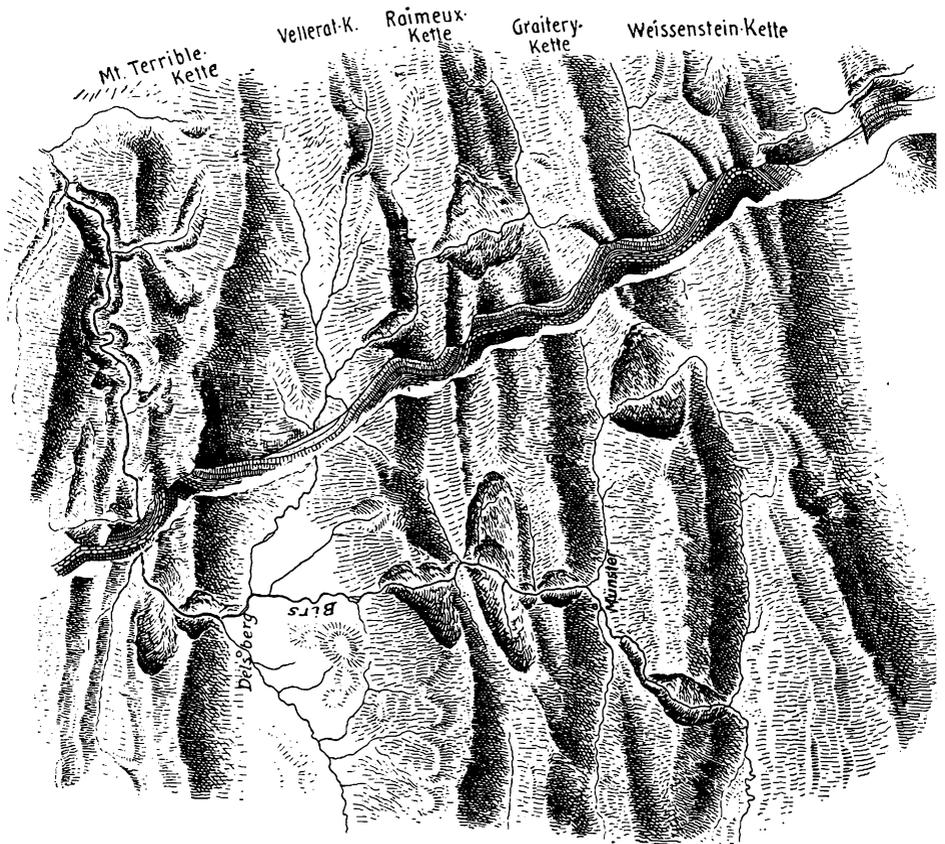


Fig. 3. Skizze eines Stückes des Kettenjura zwischen Solothurn und Delsberg mit geologischem Querschnitt. Die Täler folgen den Schichtenmulden, die Rücken den Sätteln. Aus G. Steinmann, Zeitschrift des deutsch-österreichischen Alpenvereines 1906.

gelegen. Der Rheingraben ist eine bekannte Form der zweiten Art. Die stehen gebliebenen Teile bilden den Schwarzwald und die Vogesen, im Graben selbst fließt der Rhein.

Die tangentialen Dislokationen.

Zu den tangentialen Dislokationen gehören Faltung und Überschiebung. Bei der Faltung werden die ursprünglich horizontal gelagerten Schichten zusammengestaucht, auf einen kleineren Raum zusammengepreßt, so daß sie sich abwechselnd aufrichten und senken. (Fig. 5.) Es entstehen Faltenwellen, die nebeneinander stehen. (Fig. 4.) Bei der Überschiebung dagegen wird eine Scholle auf eine andere aufgeschoben oder geht auf große Distanz über die liegende hinweg. Die Schollen liegen übereinander. Es tritt eine Wiederholung von Schichten von unten nach oben ein.

Liegen mehrere Faltenwellen hintereinander, so sind die Schichten in Gesteinswellen geworfen. Sie ähneln den Wogen des Meeres. (Fig. 3.) Es folgt Wellenberg auf Wellental. Man nennt die Mulde Synklinale, den Sattel des Wellenberges Antiklinale. Die Abdachung vom Sattel in die Mulde nennt man die Schenkel der Falte. Den inneren Teil einer Antiklinale nennt man Kern. Durch ihn geht auch die Achse der Falte. Die Längserstreckung der Faltenwellen bezeichnet man als das Streichen, ihre Neigung gegen den Horizont als das Fallen der Falten. (Fig. 4 und 5.)

Den einfachen Falten stehen die zusammengesetzten gegenüber. (Fig. 6.) Solche entstehen, wenn mehrere Falten dicht neben- oder aufeinander liegen. Viele Falten werden zusammengefaßt als Faltenzüge oder Faltenbündel. (Fig. 3.)

Wenn der Druck stärker ist als die Gesteinsfestigkeit einer Falte, so zerrißt sie. Es entsteht eine Überschiebung. (Fig. 7.)

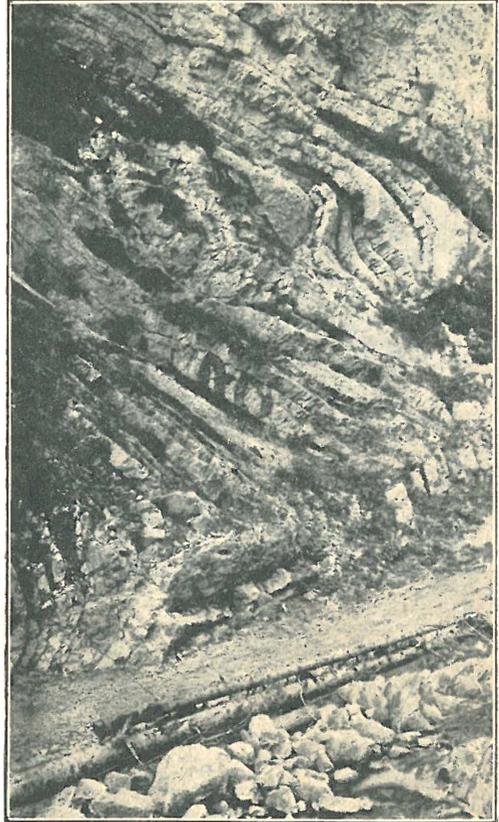


Fig. 4. Faltungen in Kalken bei Aflenz in Steiermark.

Photographie von H. Rhon.



Fig. 5. Falten im Kalk bei Karlstein in Böhmen.
Photographie von F. E. Suess.

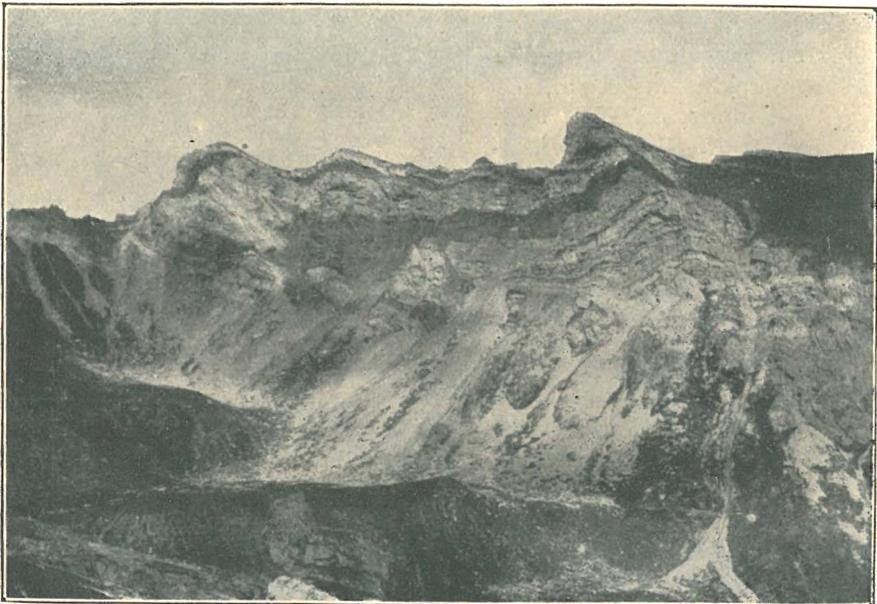


Fig. 6. Falten an der Sichelwand, Radstätter Tauern.
Photographie von W. Schmidt.

Dabei werden ältere Gesteine oft auf große Entfernungen hin auf jüngere aufgeschoben. Die Schichtfolge wird eine verkehrte. Was ursprünglich tiefer lag, liegt dann höher, über die ursprüngliche Auflagerung hinweggeschoben.



Fig. 7. Die Glarner Überschiebung. Der Segnes-Paß von Süden (Schweiz).
Die Überschiebungslinie ist scharf.
Photographie von L. Kober.

IV. Die geologischen Wirkungen des Wassers.

In allen Ländern, wo das Wasser in ewigem Kreislauf auf- und niedersteigt, wo Regen, Eis und Schnee, Bäche, Flüsse und Ströme vorhanden sind, an den Küsten der Meere, kommt dem Wasser unter den Kräften, die auf die Oberfläche der Erde gestaltend einwirken, die größte Bedeutung zu. Hier hat man es mit exogenen (äußeren) Vorgängen zu tun. Die Tätigkeit des Wassers ist eine zweifache, auf der einen Seite wird das Land abgetragen, in Form von Schutt, Schlamm oder Sand durch das strömende Wasser weggeführt, an anderen Orten dagegen wird es wieder abgelagert. Neben den Oberflächenwässern spielen aber auch die im Boden zirkulierenden Wässer eine große Rolle, so die Quellen und das Grundwasser. Wird hier durch die Strömung der Wassermassen an der Veränderung der Erdoberfläche gearbeitet, so tritt neben diese Art der mechanischen Einwirkung noch in vielen Fällen eine chemische, da die mit Kohlensäure beladenen Gewässer Zersetzungsprozesse

auszuüben vermögen. Freilich steht die chemische Zersetzung der Gesteine durch das Wasser der mechanischen weitaus nach. Diese ist es hauptsächlich, die die Oberfläche verändert, ja sogar so einschneidend in die Gestaltung des Bodens eingreift, daß sie bestimmend wirkt für die Oberflächenformen des Landes. Die Zerstörung bestehender Formen, das Einschneiden der Flüsse in den Boden nennt man die Erosion. Sie erzeugt die Niveauunterschiede, Tal und Berg. Wenn das Meer mit seinen Wellen, mit seiner Brandung das Land auf weite Strecken hin einebnet, so spricht man von einer Abrasion des Landes. Dazu kommt noch die Tätigkeit des Wassers als Eis. Wo mächtige Gletscher vorhanden sind, entstehen unter dem Einflusse der sich abwärts bewegenden Eisströme ganz spezifische Erosionsformen und eigenartige Ablagerungen. Hat eine Landschaft längere Zeit unter der Herrschaft eines nivalen Klimas gestanden, dann hinterläßt sie auch im Boden ganz bezeichnende Bodenformen. Wir unterscheiden eine Zerstörung der Schichten von ihrer Neubildung, eine chemische und eine mechanische Wirkung des Wassers. Dabei trennen wir die des Meeres von der des festen Landes und haben hier wieder die Tätigkeit der Oberflächenwasser zu unterscheiden von denen in der Tiefe des Bodens und endlich die Wirkungen des Eises und der Gletscher.

1. Die chemischen Wirkungen des Wassers.

Der größte Teil des Wassers, das wir auf der Erdoberfläche vorfinden, gehört dem äußeren Kreislauf an, der seit der Bildung der Atmosphäre besteht. Es fällt als Regen zu Boden, dringt in die Erde ein, verdunstet wieder. Dies wiederholt sich immer wieder. Diese Wässer heißen vadose. Sie sind die Wässer der Oberfläche.

Davon zu unterscheiden sind die juvenilen Wässer, die aus dem Erdinnern hervorkommen, dem äußeren Kreislauf des Wassers nicht angehören, sondern wahrscheinlich kondensierte Wasserdampfmassen sind, die aus der Magmazonen stammen.

In vielen Fällen erfolgt in der Tiefe des Bodens eine Mischung der vadosen Wässer mit den juvenilen und es vermischen sich ihre Eigenschaften.

Die Eigenschaften des vadosen Wassers sind kurz folgende. Das Regenwasser ist relativ chemisch rein, enthält aber kleine Mengen von Kohlensäure, daneben auch häufig etwas Salpetersäure. Quell-, Bach- und Flußwasser ist noch reicher an gelösten fremden Bestandteilen, die es mit Hilfe der Kohlensäure aus dem Boden aufnimmt. Wenn das Wasser in den Boden eindringt, vermag es mit Hilfe der Kohlensäure Kalk und Dolomit aufzulösen. Je nach der Menge gelöster Stoffe im Wasser unterscheidet man hartes und weiches Wasser.

Quellen enthalten meist hartes Wasser; Bäche, Flüsse und Ströme führen meist weiches Wasser.

Von den gewöhnlichen Wässern sind die Mineralwässer zu unterscheiden, das sind vadose Wässer, die in größere Tiefe dringen, und dabei mehr fremde Bestandteile in sich aufnehmen können. Häufig vermengen sie sich in der Tiefe mit juvenilem Wasser und kommen an Spalten und Klüften als Thermen, heiße Quellen oder Geiser an die Oberfläche. Hieher gehören die Kalkwässer, reich an Kohlensäure und Kalziumkarbonat. Die Kieselwässer enthalten größere Mengen von Kieselsäure. Dazu kommen noch Sauerlinge mit einem hohen Gehalt an Kohlensäure, Bitterwässer mit Magnesium und Natriumsulfat, Schwefelwässer, reich an Schwefel, endlich Solen oder Solquellen mit Kochsalz.

Die chemische Wirkung dieser Wässer ist um so größer, je heißer sie sind und je mehr sie an Lösungsmitteln enthalten. Doch ist die chemische Wirkung der Oberflächenwässer dennoch höher anzuschlagen, weil sie viel größeres Verbreitungsgebiet haben, tief in die Erdrinde von oben herab eindringen und mit der Zunahme der Tiefe wärmer werden. Dabei erhöht sich auch ihre Lösungsfähigkeit für die Gesteine. Auf den kleinsten Ritzen und Äderchen dringt das vadose Wasser in die Tiefe und bildet die sogenannte Gebirgsfeuchtigkeit, welche in Verbindung mit hoher Temperatur, Druck und Bewegung der Schichten vollständige Umwandlungen des Gesteinsgefüges herbeiführen kann. So spielt die Gebirgsfeuchtigkeit bei der Bildung der kristallinen Schiefer eine hervorragende Rolle, indem sie den chemischen Austausch der verschiedenen Verbindungen lebhaft fördert. In den tieferen Zonen der Erde wird unter dem Einflusse der allgemeinen Gebirgsfeuchtigkeit die Lösung und Neubildung ermöglicht und beschleunigt.

Auflösungs- und Auslaugungsvorgänge sind auch oberflächlich überall wahrzunehmen. Sie vollziehen sich hauptsächlich auf Spalten und Klüften. So entstehen in den Kalken auf diese Weise die Regenrillen, die Karren (Fig. 8), bei größeren Auslaugungserscheinungen bilden sich Löcher, Dolinen und Kolke. Die Poljen des Karstes sind teilweise durch solche Auslaugungsprozesse des Wassers entstanden. An der Oberfläche bleibt ein roter Rückstand, ein Lehm zurück, die Terra rossa. Auf Kalkplateaus sickert das Wasser infolge der vielen Klüfte und Spalten rasch in die Tiefe und sammelt sich erst auf einem undurchlässigen Boden als Grundwasser. Hier tritt es in Form von Quellen zu Tage. Auf dem Wege durch den Kalk löst das Wasser ihn z. T. auf. So entstehen infolge der Auflösung und Auslaugung Höhlen, wie wir sie im Karst in den Adelsbergerhöhlen sehen. Auf weite Strecken hin ist das Gebirge von einem System von Hohlräumen, Kanälen, Schloten, Grotten durchzogen, in denen oft unterirdische Wasserläufe fließen. Mit diesen Erscheinungen hängt auch

das Verschwinden der Karstflüsse im Bereiche der Kalkmassen zusammen, so der Lauf der Poik in Krain. Auch Gips wird vom Wasser leicht gelöst und weggeführt. Es entstehen in der Tiefe Hohlräume, die mit der Zeit einstürzen. Das darüberliegende Erdreich fällt nach. So bilden sich die sogenannten Gipsschlote.

Die Verwitterung der Gesteine ist nicht einzig und allein das Produkt der chemischen Wirkung des Wassers, sondern geht Hand in Hand mit einer Reihe von mechanischen Vorgängen. Wind, Regen,

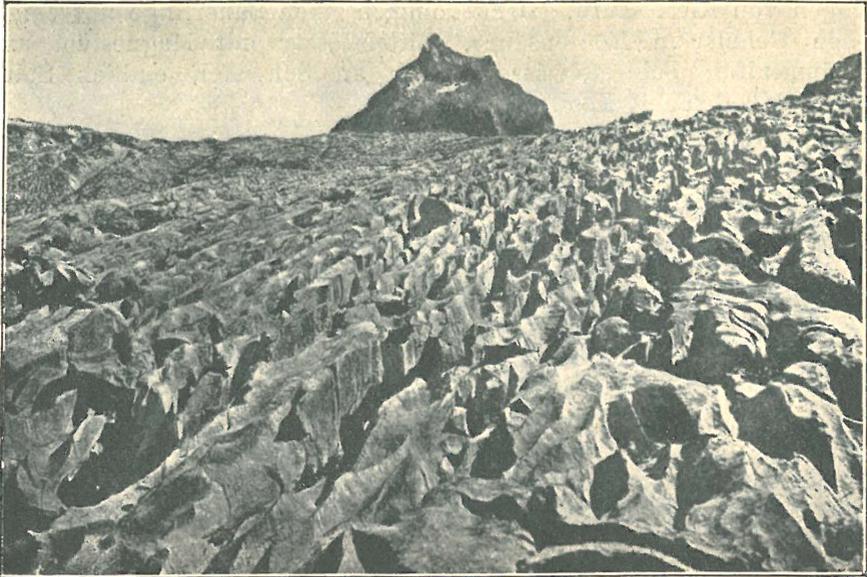


Fig. 8. Karrenbildungen in den Schweizeralpen. Nach A. Heim u. P. Arbenz.
Aus Stille: Geologische Charakterbilder.

Temperaturwechsel, Frost und Organismen sind tätige Mitarbeiter bei der Verwitterung eines Gesteins. Durch Wind und Regen werden die lose aufgehäuften abgewitterten Teile eines Gesteins fortgeführt und dadurch die Oberfläche bloßgelegt und wieder für die Zerstörung zugänglich gemacht. In ariden Klimaten fällt dem Winde die Aufgabe der Fortschaffung des verwitternden Materials zu, in unseren Gegenden aber dem Wasser. Die Tiere lockern das Erdreich, in dem sie leben, ähnlich auch die Pflanzen. Ihre Wurzeln dringen auf Spalten und Ritzen in den Boden. Die Pflanzen wirken auch chemisch durch ihre Verwesung, durch die Bildung von Kohlensäure. Aus der Verwesung der Pflanzen gehen auch die Humussäuren hervor, die stark zersetzend wirken. Auf den allerfeinsten Poren leben in den Gesteinen Bakterien, die ebenfalls chemisch zerstörend wirken.



Fig. 9. Granitlandschaft des Plöckenstein.
Photographie von F. Ekert, Prag.

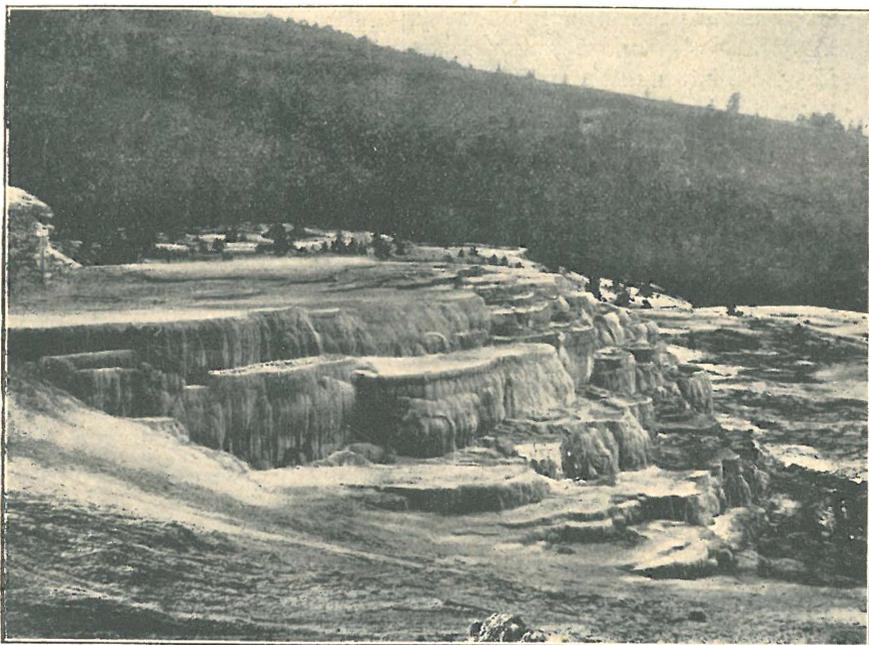


Fig. 10. Brunnen der Kleopatra, Travertinbildungen im Yellowstonepark nach N. H. Darton.
Aus Stille, Geologische Charakterbilder, Heft 12, Tafel 4.

Die verwitternden Gesteine sehen gebleicht aus oder haben dunkle Farben. Wenn sie ganz zerfallen, geht aus ihnen die Verwitterungskruste hervor. Kalke verwittern leicht, Granite lösen sich infolge der Verwitterung in Blöcke oder Platten auf. Es entstehen Blockmeere. (Fig. 9.) Schiefrige, sandige Gesteine und Konglomerate zerfallen in Ton, Sand und lose Geröllmassen. Am stärksten macht sich die Verwitterung in heißen und feuchten Gebieten geltend, desgleichen auch in kalten und niederschlagreichen, weniger dagegen bei heißem aber trockenem Klima und in den Zonen mit mittlerer Breite.

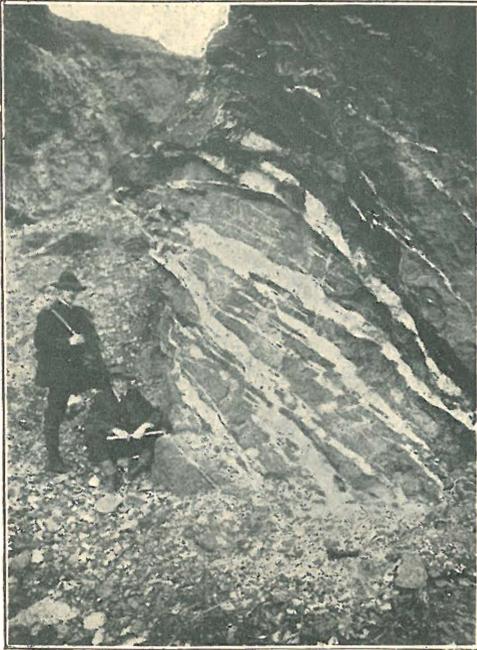


Fig. 11. Quarzgänge im Kalk bei Neuberg
in Steiermark.

Photographie von F. Koenig.

Der Verwitterung leisten die verschiedenen Gesteine einen ungleichen Grad von Widerstand. Mitbestimmend sind hier Härte und Lagerung der Schichten. Wo in einer ebenen Landschaft oft unvermittelt sich trotzige Zinnen oder Türme erheben, wo Schichten mit steilem Schichtkopfe aufsteigen, da liegen widerstandsfähigere Gesteine vor. Hieher gehören Sandsteine, die oft in grotesken und bizarren Formen auswittern und sich lange erhalten, so die in der Sächsischen Schweiz. Steil aufragende Kuppen und Grate sind auf wetterfestes Material zurückzuführen. Unter den massigen Gesteinen sind Granite, Porphyre, auch Basalte recht widerstandsfähig, unter den Sedimenten manche Kalke und besonders manche Arten von Sandsteinen, wie die Quadersandsteine in Böhmen.

Wo härtere und weichere Lagen wechseln, treten die härteren immer mehr oder weniger auffallend hervor. In den Hochgebirgen finden sich zu Füßen rasch verwitternder Gesteine oft mächtige Massen von Gehängeschutt, von Schutthalden und Schuttkegeln.

Die im Boden zirkulierenden Wässer geben auch Veranlassung zu Neubildungen auf chemischem Wege. Lösungen durchziehen den Boden, auf Klüften oder in Hohlräumen, aus den Lösungen gelangen Neubildungen zur Kristallisation.

Wässer, die kalkreichen Boden durchfließen, scheiden wieder den Kalk ab, wenn durch Verdunstung des Wassers die Kohlensäure frei wird. So entstehen die Tropfsteine in den Kalkhöhlen, Kalksinter (Fig.10)

und Kalktuff. Durch Abscheidung der Kieselsäure aus Kieselsäurehaltigen Wässern entstehen Kieselsinterbildungen. Lose Aggregate von Gesteinen, wie Sande, Ton, Konglomerate, zertrümmerte Kalke werden durch das kalkhaltige Wasser wieder verfestigt. Auf Gängen und Klüften entstehen Kalkspatadern. Auch viele Erzgänge (Fig. 11) verdanken den zirkulierenden Wässern ihre Entstehung dadurch, daß die im Wasser vorhandenen Lösungen gefällt werden.

2. Die mechanischen Wirkungen des Wassers.

a) Die Tätigkeit des Süßwassers.

Wie schon erwähnt, vollziehen sich die mechanischen Wirkungen des Wassers in der Art, daß einerseits die Schichten zerstört werden infolge der Auswaschung oder der Erosion, die Bodenebenen fast ganz entfernt werden durch die Denudation, andererseits aber wieder das Material fortgeführt und abgelagert wird, Sedimentation.

Die Erosion.

Die Erosion ist eines der wichtigsten formengebenden Elemente einer Landschaft. Wo die Erosion stark ist, da schneiden die Flüsse tief ein, es entstehen tiefe Erosionstäler, getrennt durch Käme und Ketten. Das strömende Wasser wäscht durch Unterhöhlung und Auflösung, durch Zertrümmerung, Abreibung und Fortführung von Gesteinen Furchen und Rinnen aus, die allmählich sich tiefer einschneiden und zur Bildung eines Tales führen. Je dichter das Netz der strömenden Gewässer ist, desto heftiger ist ihre erosive Wirkung. Eine Landschaft wird immer deutlicher die Merkmale der Erosion tragen, je länger sie verändernden Vorgängen ausgesetzt war. So kommt jeder Landschaft ein bestimmtes Alter ihrer Entwicklung zu und man spricht von einer reifen Landschaft, von einer jungen. Ist das Flußnetz dicht, die Erosionstätigkeit des Wassers eine gleichmäßige, so liegt eine reife Landschaft vor.

Täler, die durch das Wasser geschaffen werden, haben eine bestimmte Gestalt. Ihr Durchschnitt ist \vee förmig, nähert sich aber der Schluchtform, wenn das Gefälle sehr groß ist infolge heftiger Tiefenerosion, dagegen entstehen im allgemeinen breite Täler mit sanften Hängen, wenn die Erosion infolge geringeren Gefälles in die Breite wirkt. Dabei durchzieht meist der Fluß in vielen Krümmungen das Tal.

Bei jedem Tal ist zu unterscheiden der Ober-, Mittel- und Unterlauf. Folgen die Täler dem Streichen eines Gebirges, so nennt man sie Längstäler, queren sie dagegen das Streichen des Gebirges, so sind sie Quertäler. Viele Täler bzw. Wasserläufe vereinigen sich zu einem Fluß- oder Stromnetz. Ein Stromnetz ist von dem anderen

durch die Hauptwasserscheide geschieden. Innerhalb eines Stromnetzes trennen die einzelnen Flußläufe wieder sekundäre oder Nebengewässerscheiden.

Talbildung.

Jede Talbildung geht in der Weise vor sich, daß eine Furche oder Rinne im Boden vorhanden ist, welche das Regen- oder Schneewasser aufnimmt und infolge des Gefälles weiter leitet. Viele solche Wasserfurchen vereinigen sich zu einer Wasserader, die immer reicher an Wasser wird. Mit dem Sammeln des Wassers in einem Becken und dem Weiterleiten in einem Bette beginnt die Erosion, die Auswaschung des Bodens. Es wird das Becken erweitert und vertieft, ebenso auch das Bett, in dem das Wasser weiter fließt. Chemische, mechanische und klimatische Vorgänge wirken bei der Talbildung mit vereinten Kräften. Die Talbildung greift durch Auswaschung, Unterhöhlung des Gehänges immer weiter nach oben und hinten, der Oberlauf verlegt sich immer weiter nach rückwärts, gegen die Wasserscheide hin.

Hier liegt die stärkste Erosion. Die Gehänge haben die möglichste Steilheit. Das Gefälle ist daher sehr groß. Die Schuttmassen werden durch das Wasser fortgeschafft, der Fluß gräbt immer tiefer. Der Querschnitt des Tales ist ∇ -förmig oder schluchtartig. Wo Becken härteren Gesteins mit solchen von weicheren wechseln, entsteht ungleiches Gefälle. Im weicheren Gestein kann sich der Fluß ausweiten, im härteren wird er festgehalten. Er bildet darin Klammern und Schluchten oder stürzt in Kaskaden und Wasserfällen über die Steilstufe in die Tiefe. Durch das Niederstürzen großer Wassermassen in einem Wasserfalle wird der Boden unterhalb der Steilstufe ausgehöhlt, es entstehen Löcher und Töpfe. Man nennt diese Vertiefungen auch Kolke. Gesteine, die am Boden liegen, werden durch die Wassermassen im Kreise herumgedreht, sie reiben sich am Boden, höhlen ihn aus. Durch das lange Drehen der Gesteinsblöcke im Wirbel graben sich tiefe Löcher in das Gestein, unterhöhlen den Boden der Steilwand, so daß diese mit der Zeit einstürzen muß. Dadurch wird der Wasserfall immer mehr nach rückwärts verlegt. Die tiefen Löcher nennt man auch Riesentöpfe, Strudellöcher. Viele solcher Töpfe reihen sich aneinander. Wird die trennende Wand zwischen zwei Töpfen durchgesägt, so entsteht eine bedeutende Vergrößerung, wiederholt sich der Vorgang oft und oft, so bilden sich Klammern heraus. In der Tat kann man auch in Klammern die geglätteten und abgeriebenen Wände sehen, die einst einem Strudeltöpfe angehört haben. In Klammern sieht man häufig in den Strudellöchern noch die Rollsteine. (Fig. 12.)

Im Oberlaufe eines Flusses wird also Gesteinsmaterial hauptsächlich verdrängt, im Mittellaufe transportiert und im Unterlaufe abgelagert.

Von maßgebendem Einfluß auf die Talbildung sind außer der Erosion Gestein und Klima. Wie schon erwähnt, ist die Härte oder Festigkeit eines Gesteins von Bedeutung. Im weichen Gestein weitet sich das Tal, im harten verengt es sich. Ebenso wichtig ist die Klüftung und die Durchlässigkeit des Gesteins. Bei ungeklüftetem und undurchlässigem Material kann das Wasser nicht leicht eindringen, es bilden sich mehr oberflächliche Runsen und Furchen. Bei stark geklüftetem und durchlässigem Boden entstehen wenige aber um so tiefere Täler. Die Talbildung hängt auch vom Klima ab, denn dieses bestimmt die Menge des Niederschlages.

Im ariden Klima vermag das Wasser wenig zu schaffen. Hier fällt die Haupttätigkeit der Abtragung dem Winde zu. Wo aber Flüsse Wüstengebiete durchfließen, vertrocknen sie häufig. Graben sie sich infolge des hohen Gefälles stark in die Tiefe, so zeichnen sich die Täler durch Enge und Steilwandigkeit aus. Wohl das großartigste Beispiel dafür gibt der Colorado Cañon in Nordamerika. Er kommt aus dem Felsengebirge, schneidet sich dann in ein Tafelland ein. Seine Ufer sind 1000—2000 *m* hoch, steil, stellenweise fast aus senkrechten Wänden aufgebaut. Auch die Elbe durchschneidet das Sandsteingebirge in einem engen Cañon. Steht man auf der Höhe des Plateaus, so befindet man sich auf einer weiten Ebene und nichts deutet darauf hin, daß tiefer unten in einem Cañon die Elbe fließt.

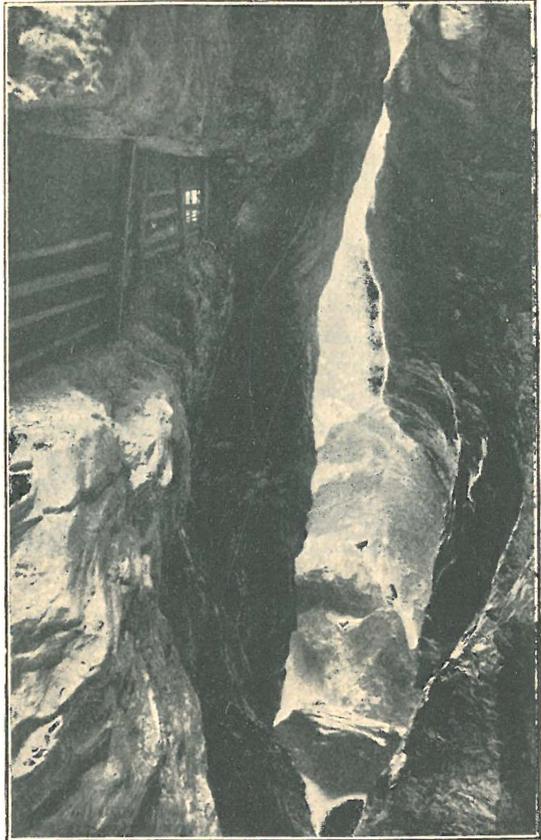


Fig. 12. Die Liechtensteinklamm in Salzburg.
Nach einer Ansichtskarte.

In ähnlicher Weise, wie sich diese Erosionsformen in den verschiedenen Breiten nebeneinander finden, treffen wir sie in Hochgebirgen übereinander. So ist auch die Höhe mitbestimmend.

Die Wirkung benachbarter Täler aufeinander führt zu einem Kampf um die Wasserscheide. Die Erosion schreitet weiter zurück. Die Wasserscheide zwischen zwei Tälern wird immer mehr angegriffen und erniedrigt. Gelingt es nun einem Fluß, die Wasserscheide zu durchsägen, in das jenseits der Wasserscheide liegende Tal einzudringen, so zapft er dieses Tal oder diesen Wasserlauf an. Die Anzapfung besteht also darin, daß das Wasser sein altes Bett verläßt und durch ein junges Durchbruchstal einem zweiten Flusse zuströmt.

Auf ähnliche Vorgänge sind auch die Gabelungen der Täler zurückzuführen. Ein Fluß verläßt sein altes Bett und wird gezwungen, sich einen anderen Lauf zu suchen, wenn das alte Tal durch Bergstürze, Moränen verlegt wird.

Mit dem Kreislauf des Wassers geht ein Zyklus der Erosionsformen Hand in Hand. Aus einer jungen oder unreifen Landschaft wird durch die Tätigkeit formverändernder Kräfte eine reife Landschaft. Jeder Berg, jedes Tal hat seine Entstehungsgeschichte. Ihr heutiger Zustand ist das Ergebnis einer langen, wechselvollen Entwicklung. Wir haben gesehen, daß dem ariden Klima bestimmte Erosionsformen zukommen. Auch mit dem nivalen Klima ist die Herausbildung eines bestimmten Formenschatzes verbunden. Ein Tal kann im Laufe seiner Entstehung zeitenweise unter nivalem, dann wieder unter aridem, dann wieder unter pluvialem Klima gestanden haben, jedes hat Spuren seiner Tätigkeit im Tale hinterlassen. So können wir Sande, Konglomerate, dann wieder Moränen in einem Tale finden.

Die Denudation.

Die Denudation ist nach den heutigen Vorstellungen das Ende der Erosion. Es ist die völlige Abtragung des Gebirges zu einer Rumpf- oder Fastebene. Die Bildung einer solchen Abtragungsfläche benötigt lange Zeiträume. Die böhmisch-mährische Hochfläche ist eine solche Rumpffläche. Der Elbecañon ist ein junges Flußtal, eingeschnitten in eine alte Einebnungsfläche infolge Neubelebung der Erosion durch eine Hebung der ganzen Rumpfebene.

Tätigkeit der Bäche, Flüsse, Ströme. Flußverlegungen, Inselbildung.

Die Wirkungen, welche von Bächen, Flüssen und Strömen auf den Boden ausgeübt werden, sind abhängig von dem Gefälle und von der Wassermenge.

Das Gefälle nimmt allgemein mit der Lauflänge ab, die Wassermenge dagegen zu. Es gibt auch Flüsse, die infolge großer Verdunstung im Unterlauf weniger Wasser führen als im Mittellauf. Dies gilt besonders von Flüssen, die Trockengebiete durchfließen, so der Colorado. Die Wassermenge eines Flusses hängt ab von der Größe des Einzugsgebietes, von dem Niederschlag. In unseren Gegenden ist sie im Frühjahr größer als im Sommer, besonders zur Zeit der Schneeschmelze.

Im Oberlauf erodiert jeder Fluß und trägt das Material fort. Im Mittellauf ist die Erosion ungefähr gleich der Ablagerung, im Unterlauf erfolgt mehr Ablagerung. Wo stärkeres Gefälle vorhanden ist, nimmt der Fluß den kürzesten Weg. Er hat ein gerades Bett. Ist das Gefälle geringer, beginnt der Fluß Schlingen zu bilden, er mäandert und im Unterlaufe, wo das Wasser träge dahinfließt oder fast stagniert, beginnt die Zerteilung des Stromes. Es setzt die Inselbildung ein. In der Richtung der stärksten Strömung eines Flusses oder Stromes, im Stromstrich, ist die Geröllführung am stärksten. Hier werden die gröberen Materialien fortgeschafft, im ruhigeren Wasser dagegen das feinere, wie Sand und Schlamm.

Die Ablagerung von Sand, Schlamm und Geröllmassen verändern das Strombett. Es entstehen Sandbänke und Untiefen inmitten des Stromes. Wird die Sandbank größer, so kann der Fluß gezwungen werden, seinen Lauf zu verlegen. Besonders, wenn bei Hochwässern große Schottermassen transportiert werden, tritt der Fluß oder Strom häufig aus seinem Bett aus, nimmt einen anderen Weg, den er für eine Zeitlang wieder beibehält. Es entstehen Flußschlingen, Flußverlegungen. Es kann auch vorkommen, daß eine solche Flußschlinge vollständig vom Strom wieder abgeschnürt werden kann, dann bilden sich neben dem Fluß Tümpeln und Lachen aus, die auch Altwasser genannt werden. Mit der Flußverlegung steht im engsten Zusammenhang die Inselbildung. Oft ist diese nichts anderes als Aufschüttung von Geröllen mitten im Fluß. Allen diesen Laufveränderungen wird durch die Fluß- oder Stromregulierungen entgegengearbeitet.

Wenn das Wasser viel Schutt mit sich führt und derselbe abgelagert wird, so erfolgt eine Zuschüttung des Tales. Der Fluß legt selbst sein Bett höher. Folgt darauf wieder eine Zeit der Erosion, so schneidet sich der Fluß in seine eigenen Schotter ein. Er legt sein Bett wieder tiefer. Das höhere Bett aber kann erhalten bleiben, in Form eines Absatzes oder einer Terrasse, stets in derselben Höhe liegend. In den Alpen kann man in den Tälern meist zwei solcher Terrassen deutlich unterscheiden, eine Hoch- und eine Niederterrasse. Unterhalb der letzteren liegt das heutige Bett des Flusses. An anderen Flüssen lassen sich drei solcher Terrassen unterscheiden.

Fortführung und Ablagerung fester Stoffe durch die Flüsse und Bäche hängt ab von der Wassermenge und dem Gefälle. Es finden sich diese Stoffe entweder chemisch gelöst im Wasser oder in Form von festen Körpern der verschiedensten Größe. Die ganz feinen Massen heißen Schlamm und bedingen die Trübung des Wassers. Dann gibt es Sand und Geröll. Bei manchen Strömen ist das abgelagerte Material so groß, daß weite Niederungen im Laufe langer Zeit von mächtigen Schotterlagern erfüllt werden.

Die Deltas sind Ablagerungen der Flüsse an ihrer Mündung. Man unterscheidet marine und Binnendeltas. Sie bestehen meist aus feinem Sand oder Schlamm, besonders die marinen Deltas. Die Deltas

des Binnenlandes können insbesondere in Seen innerhalb von Hochgebirgen, wie in den Alpen, auch aus groben Schottermassen bestehen. Sie gleichen dann ganz und gar den Geröll- und Kiesbänken, wie sie sonst im Flußbette liegen. Die marinen Deltas sind meist Sand- und Schlammbildungen, die sich allmählich ins Meer senken. Deltas zeigen häufig die Kreuzschichtung (Fig. 13) und eine Wechsel-

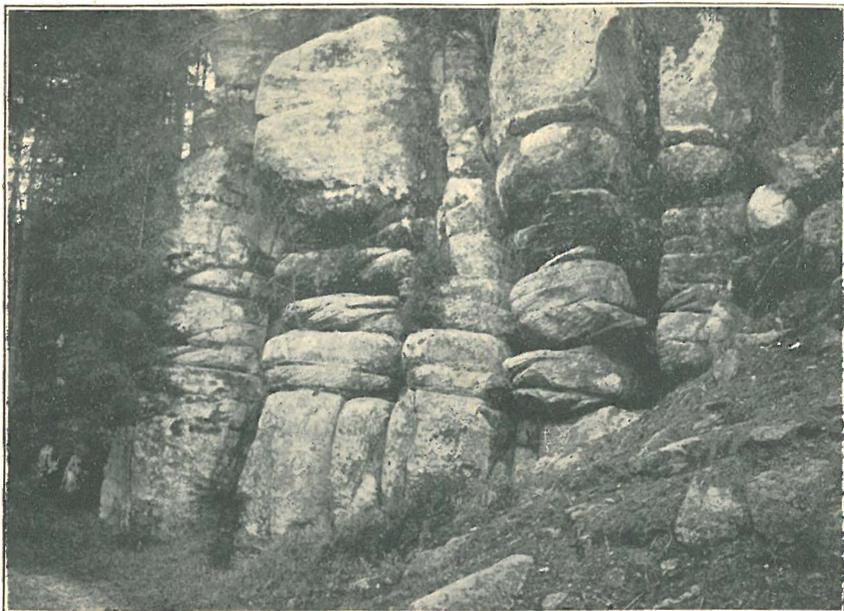


Fig. 13. Kreuzschichtung im Quadersandstein.
Photographie von F. E. Suess.

lagerung von Absätzen aus fließendem und aus stehendem Wasser. Bei manchen Deltas wechsellagern zugleich noch die Süßwasserbildungen des Stromes mit marinen Bildungen.

Die Tätigkeit der Seen.

Im Vergleich zu den Flüssen oder dem offenen Meere treten Seen im allgemeinen als geologische Faktoren an Bedeutung zurück. Seen finden sich auf den Kontinenten überall verteilt, einzeln oder angehäuft, besonders aber in Delta-, Glazial-, Vulkan- und Steppengebieten. In Steppengebieten kommt ihnen eine große Bedeutung als Salzbildner zu.

Die Größe der Seen ist im Vergleich zum Meere gering, etwa gleich dem Verhältnis der Inseln zu den Kontinenten. Auch die Tiefe ist nicht bedeutend. Der tiefste aller Seen, der Baikalsee in Asien, ist zirka 1600 *m* tief. Die westeuropäischen bleiben da weit zurück, so ist der Bodensee bloß 252 *m* tief.

Die Temperatur hängt von verschiedenen Umständen ab. Salzreiche Seen können unter Umständen recht hohe Temperaturen erreichen, bis zu 50° C. Ebenso ist die Wassermenge veränderlich und von der Niederschlagsmenge abhängig.

Die Seen sind ihrer Entstehung nach zu trennen in festländische oder Binnenseen und in Meeresseen. Die letzteren sind abgetrennte Meerbusen. Sie enthalten durch lange Zeit oft Überreste der einstigen Meeresfauna. Solche Seen heißen Reliktseen. Beispiele dafür sind der Kaspisee und der Aralsee. Würde heute der Bosphorus landfest werden, so würde das Schwarze Meer zu einem großen Reliktsee.

Die Abdämmungsseen entstehen durch Abdämmung eines Baches oder Flusses.

Wenn sich Bergstürze, Lawinen, Schuttkegel oder Gletschermoränen weit hineinbauen in ein Tal, so kann der Bach abgestaut werden. Es entsteht ein See. Man kann sie Stauseen nennen, und zwar wieder unterscheiden: Eisseen, Lawinenseen Moränenseen. Ein großer Teil der alpinen Seen sind Moränenseen, so der Garda-, der Boden-, der Achensee.

Recht eigentümliche Erscheinungen sind die Kraterseen, Ausfüllungen alter Krater, so die Maare der Eifel oder der Auvergne.

Wenn sich infolge tektonischer Bewegungen Kessel, Tröge, Becken oder Gräben bilden, so kommt es vor, daß diese von Wasser bedeckt werden. So entstehen Seen der verschiedensten Form und Größe.

Die Seen, die von Flüssen durchströmt werden, bilden Reinigungsbecken für die Flüsse. Am deutlichsten ist das an der Einmündungsstelle des Flusses und an seiner Austrittsstelle zu sehen. Mit trüben schmutzigen Fluten mündet der Fluß, während reines klares Wasser wieder ausfließt.

An den Ufern der Seen werden durch die verschiedenen Höhen des Wasserstandes Veränderungen hervorgerufen. Es können Schotter aufgehäuft werden. Diese bilden Uferwälle. Durch den Anprall der Brandung wird ein Teil des Ufers abradiert. Es entsteht eine Terrasse. Sie bildet sich nur bei längerem Verweilen des Wasserstandes. Tritt Wechsel in der Wasserstandshöhe ein, so hinterbleiben am Ufer Strandmarken. Es bilden sich auf dem Boden der Seen Sand, Schlamm und Kiesbänke. Schuttreiche Flüsse bauen mächtige Deltas oder Schuttkegel ein, die mit ihrem Fortwachsen zur Verlandung der Seen führen können. Neben den mechanischen Sedimenten treten die organischen ganz zurück.

Salzlager entstehen in Trockengebieten aus Seen infolge der Anreicherung von Salzen im Wasser. Die Lösungen werden gefällt, bilden Salze, die mit Sand und Schlamm bedeckt versteinert werden können.

Die Salzbildung kann auf zweierlei Weise erfolgen. Entweder es werden Meeresteile abgeschnürt, und durch die Verdunstung des

Wassers wird die Salzlösung konzentrierter. Es kommt zur Fällung von Salz. Der Vorgang kann sich oft wiederholen, so daß mächtige Salzlager entstehen können. Heute sehen wir ähnliche Vorgänge an der Ostseite des Kaspisees. Im zweiten Falle finden sich in Trockengebieten Seen, die wohl Zuflüsse, dagegen keine Abflüsse haben. Da werden stetig Salze zugeführt. Durch die Verdunstung des Wassers wird die Lösung ständig konzentrierter. Es scheiden sich aus der Lösung je nach dem Grade der Löslichkeit die Salze aus, zuerst die schwer löslichen, zuletzt die am leichtesten löslichen, also zuerst Gips oder Anhydrit, dann Steinsalz, dann die sogenannten Abraumsalze, die Kalium- und Magnesiumsalze.

Große Salzlager finden wir in Galizien, Wieliczka und Bochnia, in Deutschland in Staßfurt. Dort finden sich die Salze genau nach dem Grade ihrer Löslichkeit übereinander.

Hangendes. Salzton, 8 *m*, wasserdicht abschließend.

5. Zone der Mutterlaugensalze (42 *m*).

4. Vorherrschend Steinsalz (56 *m*).

3. Steinsalz mit Bänken von Polyhalit (60 *m*).

2. Geschichtetes Steinsalz mit Anhydritbänkchen (330 *m*).

1. Mächtiges Anhydritlager.

Liegendes. Stinkschiefer des mittleren Zechstein.

Salzlager haben sich von den ältesten Zeiten bis auf den heutigen Tag gebildet. Sie haben große geologische Bedeutung. Denn sie geben Aufschluß über die klimatischen Bedingungen zur Zeit ihrer Entstehung. Zugleich aber besitzen sie große ökonomische Bedeutung.

Die Tätigkeit des Eises.

Die großen Veränderungen im Relief der Erde sind das Werk des fließenden Wassers. Doch auch das Eis vermag auf der Oberfläche solch große Veränderungen zu erzeugen, daß Landschaften, die längere Zeit hindurch unter der Herrschaft eines nivalen Klimas standen, ganz bestimmte Arten von Sedimenten und ganz eigenartige Oberflächenformen aufweisen.

Die Wirkung des Eises besteht darin, daß der Boden durch große Eismassen abgerundet, geglättet, ausgehöhlt wird, es transportiert Gesteinsmaterial weithin, oft riesige Blöcke. Sie werden an den Seiten oder an der Stirn eines Gletschers als Moränen abgelagert.

Wir können unterscheiden Meereis und Binneneis. Meereis entsteht in den Polarländern, wird 1–2 *m* stark. Durch Zerstörung des ursprünglich tafelartigen Meereises entsteht Packeis, 10–15 *m* Mächtigkeit erreichend. Das Binneneis zerfällt wieder der Entstehung nach in Wassereis und Gletschereis, die ihren Eigenschaften, ihren Vorkommen, ihren geologischen Wirkungen nach verschieden sind.

Die Schneegrenze, d. i. die Linie, bis zu welcher die atmosphärischen Niederschläge als Schnee niederfallen, liegt in den

Alpen in der mittleren Höhe von 2750 m. Über dieser Grenzlinie sammelt sich der niedergehende Schnee in Mulden und Becken an. Hier bleibt er liegen und durch den Wechsel von Auftauen und Gefrieren wird der Schnee körnig, es entsteht der Firn. Seine Sammelbecken heißen Firnmulden, Firnbecken.

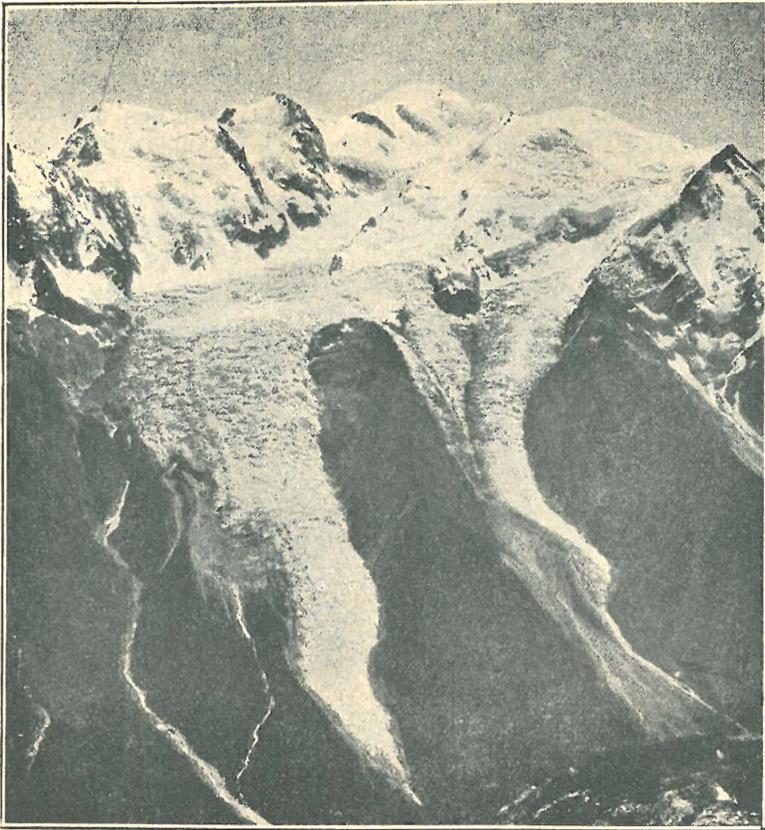


Fig. 14. Bossons- und Taconazgletscher. Montblancgruppe.
Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

Der Schnee der Hänge, der Kämme, geht oft in Form von Lawinen in die Tiefe, entweder tief hinab in die Täler, oder wenn die Abrißstelle sehr hoch gelegen ist, in die Firnmulden. Sie sind ein deutlicher Beweis dafür, daß die lockeren Schneemassen das Bestreben haben, tiefer hinab zu rücken. Aber genau so, wie der Schnee in Lawinen tiefer sinkt, haben auch die Firnmeere das Bestreben, in die Tiefe zu gleiten. Der Boden der Firnfelder ist geneigt, und die Firnmasse übt infolge ihrer Schwere einen Druck auf ihre Unterlage aus, der sich in eine Bewegung in die Tiefe umsetzt. Diese Bewegung geht aber ungemein langsam vor sich.

Dabei verändert sich das Gefüge des Firn und es entsteht Eis, hauptsächlich infolge des häufigen Auftauens und Wiedergefrierens, aber auch infolge des Druckes, der durch die eigene Schwere ausgeübt wird. Das Gletschereis ist ein grobkörniges Gemenge von Eiskristallen. Sie liegen in verschiedenen Stärken, Schichten übereinander, oft durch dunkle schmutzige Lage geschieden. Das Gletschereis ist geschichtet. An der Unterseite des Gletschers ist das Eis viel körniger als an der Oberfläche, wo es auch in Firn übergeht.

Die Gletscher erstrecken sich von der Höhe der Berge oft tief hinunter ins Tal. Die Mächtigkeit mancher alpinen Gletscher erreicht bis 300 *m*, die Länge einige *km*. Der längste Gletscher der



Fig. 15. Gletscheroberfläche des Karlinger Gletschers in den Hohen Tauern.
Photographie von Forster.

Ostalpen, die Pasterze, ist 10 *km* lang. Der Gletscher verhält sich in seiner Bewegung ähnlich wie ein Strom. Gletschereis ist plastisch und fließt. Der Gletscher befördert die Niederschläge der Höhe, Schnee und Eis, in die Tiefe. Das geht deutlich daraus hervor, daß bei normalen Niederschlägen die Schneemassen in den Hochregionen gleich bleiben. Sie werden von dem Gletscher abgeführt. Freilich ist die Bewegung eine sehr langsame, 50—480 *m* im Jahre. (Fig. 14.)

Die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung hängt von der Neigung der Bahn, von der Masse des Eises ab. An den Rändern ist sie geringer, als in der Mitte, an der Oberfläche größer als in

der Tiefe. Infolge der Bewegung würde der Gletscher immer weiter in das Tal vordringen, wenn er am Ende nicht abschmelzen würde.

Fließt der Gletscherstrom in einen ebenem Becken, so ist seine Oberfläche glatt und spaltenfrei. Wenn der Gletscherboden uneben ist und dabei starkes Gefälle hat, entstehen Spannungen in der fließenden Eismasse, einzelne Teile fließen schneller als die anderen, der Gletscher zerreißt dadurch in viele Teile, die durch Klüfte, Spalten getrennt sind. Besonders an Gletscherbrüchen sind die Gletscherspalten großartig entwickelt. Aus ihnen bricht blau und hell das Eis.

Die Oberfläche (Fig. 15) eines Gletschers ist oft bedeckt von groben großen Schuttmassen. Sie finden sich über den ganzen Gletscher verstreut, meist aber ordnen sie sich an in einer bestimmten Art. Die Schuttmasse, die vom Gehänge eines Gletschers auf ihn niederfällt, bleibt auf dem Rande liegen, bildet einen Wall, der die Rand- oder Seitenmoräne genannt wird. Vereinigen sich zwei Gletscher zu einem, so bilden die beiden Randmoränen der alten Gletscher ein einheitliches Band in der Mitte des neuen Gletschers, die Mittelmoräne.

Außer den Oberflächenmoränen gibt es Moränen am Grunde der Gletscher, die Grundmoränen. An der Stirn bleiben die Moränen der Oberfläche und des Grundes liegen, sie bilden den Schuttwall einer Stirn- moräne.

Von der Oberfläche der Gletscher gehen die Schmelzwässer in die Tiefe. Sie sammeln sich durch Furchen und Rinnen und brechen an der Zunge des Gletschers oft als ein mächtiger Wasserstrom aus einer großen Höhlung, dem Gletschertor, hervor, Sand mit sich führend.

Die Oberflächenmoränen werden vom Gletscher transportiert. Sie liegen dabei ruhig auf der Oberfläche und erleiden also keine weiteren Veränderungen. Es ist meist auch loses, grobes, oft sehr großes Blockmaterial vermischt mit Schuttmassen. Die Grundmoräne dagegen besteht aus Blöcken, die infolge der Bewegung auf dem Untergrunde gekritz, geschrammt werden, sie werden auch gerundet. (Fig. 16.) Sie liegen entweder eingefroren im Eise, oder in einer infolge des Druckes verfestigten Schuttmasse. Dieses Gesteinsmaterial enthält auch feinere sandige Masse, die infolge der unter dem Gletscher fließenden Wassermassen durch Schlemmung aus dem



Fig. 16. Gekritztes Geschiebe.
Aus E. Haug, *Traité de géologie*.

gröberen Schutt entstehen. An der Zunge des Gletschers besonders ist die Scheidung der Grundmoräne in gröberes und feineres Material häufig.

Die abwärts wandernden Eismassen verändern den Boden, über den sie fließen. Ihre Wirkung ist hauptsächlich ein Abschleifen des Bodens. Der Gletscher schleift an der Seite das aufragende Gestein der Felsen glatt, es entstehen Gletscherschiffe, Steine, Blöcke ein-



Fig. 17. Rundhöckerlandschaft am Grimselhospiz. Der im Vordergrund (über dem Gasthaus und See) liegende, frei aus dem Tal aufragende Felsbuckel und ebenso die Talwände sind bis zu bedeutender Höhe abgeschliffen. Erst die zackigen Kammlinien rechts oben verdanken ihre Form nicht dem Eisabschliff, sondern der Verwitterung.

Aus Kayser. Allgemeine Geologie 1909.

gefroren im Eise, kratzen und ritzen die polierten Wände, es bilden sich Striemen und Kritzen, die in der Richtung der Eisbewegung liegen. Auf dem Boden werden vom Eise entgegenstehende Hindernisse mit der Zeit ganz abgehobelt und der Boden des Gletschers wird glatt poliert, die Rücken werden zu Rundhöckern geschliffen. (Fig. 17.) Der Gletscher gräbt sich immer tiefer, höhlt den Boden des Tales, dabei wird auch sein Querschnitt geändert. Es nimmt die Form eines Troges an, eine U-Form. (Fig. 18.) Wo das Eis der Gletscher aufhört, beginnt der Hang die Neigung aufzunehmen, die er zufolge der Erosion hat. Hier entsteht ein auffallender Gehängeknick, den Trogrand bezeichnend. Große Blöcke der Oberflächenmoränen wandern auf

dem Rücken der Gletscher oft aus dem Gebirge weit hinaus in die Ebene. Schmilzt dort das Eis, so bleibt der Block liegen. Er ist der Umgebung oft völlig fremd. Wanderblöcke, erratische Blöcke werden solche Findlinge genannt. Von der Eiszeit her finden sich in Norddeutschland zahlreiche erratische Blöcke, die aus Skandinavien stammen. Desgleichen finden sich auch am Nordsaum der Karpaten Findlinge aus dem Norden. (Fig. 19.)



Fig. 18. Val Frisal (östl. v. Tödi, Kt. Glarus) ein typisches trogförmiges Glazialtal.
Nach Photographie Dr. Hoeck-Freiburg, aus Kayser: Allgemeine Geologie 1909.

Die Bodenformen der Gebirge sind völlig anders vor der Zeit und nach der Zeit der Vergletscherung. Die Wirkung der Gletscher geht dahin, die Täler zu vertiefen und trogartig zu verbreitern, Ungleichheiten im Gefälle zu schaffen, Talbecken und Talstufen herauszubilden, Kare in die Hänge einzugraben, den ganzen Boden, soweit er vom Eise bedeckt ist, zu schleifen und zu glätten. Die über dem Eise aufragenden Kämme und Grate sind der Verwitterung ausgesetzt, sie erhalten scharfe eckige Formen mit Zinnen und Türmen. Unter dem Eise dagegen entstehen weiche runde Formen. In den Tälern werden Moränen niedergelegt: Rand-, Grund-, Stirn- und Wanderblöcke.

Um die beiden Pole herum sammeln sich Eismassen, die in Form mächtiger Eiskalotten sich ausbreiten. Solche Inlandeismassen trägt heute Grönland, der arktische Archipel, ferner der antarktische

Kontinent. In Grönland bedeckt das Inlandeis in Form einer mächtigen Eisdecke das Land so vollständig, daß nur wenige kleine Felsinseln aus dem Eise herausblicken. Das Eis bildet ein flaches Gewölbe, das in der Mitte von Grönland seine höchste Erhebung erreicht und von hier flach gegen Osten und Westen abfällt. In breiten, langen Gletscherzungen hängt das Inlandeis ins Meer hinein und zerbricht in mächtige Blöcke, die auf dem Meere schwimmen. Sie treiben



Fig. 19. Große erratische Blöcke im norddeutschen Flachland nach F. Wahnschaffe.
Megalitisches Grab »die Teufelküche« bei Neuhaldensleben.
Aus Stille, Geologische Charakterbilder.

als Eisberge mit der Strömung weit gegen Süden, führen mit sich große Massen von Sand, Schlamm und Schutt. Beim Schmelzen des Eisberges fallen diese Massen zu Boden und bilden auf dem Meeresgrunde Ablagerungen, die im Gegensatz zu den Glazialablagerungen des festen Landes marine Glazialbildungen genannt werden. Solche marine Glazialbildungen finden sich am Rande der großen Inlandeismauer, die den antarktischen Kontinent umgibt. Es sind Sande oder Tone mit beigemengtem Blockmaterial.

Gletscher spielen heute besonders in den Hochgebirgen eine Rolle. Vergletschert sind große Teile der Alpen. Noch größer war die Vergletscherung in der Eiszeit. Längs der heutigen Haupttäler ergossen sich weite Gletscherströme in das niedere Vorland. Ihre Stirnmoränen liegen am Außensaume der Alpen. Sie lassen

sich bis in die Nähe von Wien verfolgen. Mit dem Abschmelzen der Eismassen ging Hand in Hand ein großer Abfluß von Wasser, der mächtige Schuttmassen, von den Moränen herrührend, zu transportieren hatte. Die Hoch- und Niederterrassen der Täler stehen mit diesem Phänomen in engstem Zusammenhang. Die Gletscher haben die ursprüngliche V-Form der Täler in U-Form (Fig. 20) zum Teil umgewandelt, haben die Formen bis zu bedeutenden Höhen hinauf gerundet. Die in den Alpen so häufig zu beobachtenden Talstufen sind das Werk der eiszeitlichen Vergletscherung. Im Hintergrund schließt das Tal mit steilem Talschluß, höher oben hängen im Gehänge in gleicher Höhe Kare, in denen öfter tiefe, mit Wasser gefüllte Wannen liegen. Die Kare, Karstufen, die Karseen sind Bodenformen der Vereisung. (Fig. 21.)

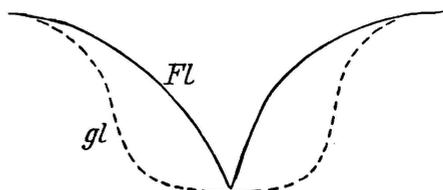


Fig. 20. Querschnitt eines durch Fluß-(FL.) und eines durch Gletscher(Gl.)tätigkeit ausgestalteten Tales.

Aus Kayser, Allgemeine Geologie.



Fig. 21. Der große Teich. Moränen-See im Riesengebirge.
Photographie von H. Eckert, Prag.

b) *Die Tätigkeit des Meeres.*

Die Tätigkeit des Meeres ist in eine zerstörende und eine neubildende zu sondern.

Nur an den Küsten kann sich naturgemäß der Einfluß des Meeres auf das feste Land geltend machen. Bei ruhiger See ist die zerstörende Arbeit gering. Doch hat schon der Wechsel der Gezeiten Einfluß. Ebbe und Flut bedingen bereits Veränderungen des Strandbes. Sandmassen können durch höher gehende Flut oder Springflut weiter landeinwärts getragen werden. Bei Sand- und Flachküsten ist die Wirkung des Meeres geringer, die eindringenden Wogen können sich verlaufen. An Steilküsten dagegen leistet das feste Land Widerstand und bricht die Kraft des Meeres. Die mechanische Arbeit des Meeres wird noch unterstützt durch die chemische, ferner durch die zerstörende Tätigkeit von Pflanzen und Tieren und durch klimatische Einflüsse. Besonders durch Frost oder starke Sonnenbestrahlung kann das Ufergestein verwittern oder zertrümmert werden.

Loses Material liegt am Strande, feiner Sand, kleinere Blöcke, dann größere Trümmer. Der Strand ist eine größere Strecke zur Zeit der Ebbe trocken, zur Zeit der Flut von rollenden, schäumenden Wogen bedeckt. Woge auf Woge rollt über den Strand. Blöcke, Sand und Steine werden hin und her gewälzt, gegen das Ufergestein geworfen. Dieses bröckelt ab, wird untergraben und Teile stürzen zu Zeiten ein. Das Meer dringt ein Stück landeinwärts vor. Wo die Wogen anschlagen, bildet sich eine Hohlkehle. Ähnlich wie bei der Erosion in Schluchten bilden sich auch hier auf dem Strandboden Rinnen und Rillen, Auswaschungslöcher und Strudelöcher. Schreitet die Aushöhlung fort, so kommt es zur Bildung von Grotten, Felstoren.

Durch das Fortwachsen der Strandfläche wird der Strand immer breiter, es bilden sich Strandterrassen, die, wenn sie größer werden, zur Einebnung des Landes führen können. Das Land wird dann auf die Höhe des Meeresspiegels abgetragen, das Meer geht über das Festland als Flachsee hinweg und lagert neue Sedimente auf die abradierte Fläche. (Fig. 22.) Gesteine aller Art werden durch marine Abrasion abgetragen. Steil gestellte Schichten fallen der marinen Abrasion genau so zum Opfer wie flachliegende. Zweifellos vermögen härtere Gesteine der Erosion und Abrasion länger Widerstand zu leisten als weichere, ungeklüftete länger als geklüftete. Auch ist die Wirkung des Meeres an Steilküsten größer als an Flachküsten.

Neubildungen entstehen im Meere dadurch, daß an der Küste oder auf dem Strande Wälle entstehen, die sogenannten Strandwälle, vor allem aber, daß sich in der Tiefe des Ozeans recht verschiedenartige Ablagerungen bilden, die für den Bau der Erde von

höchster Bedeutung sind. Die Ablagerungen sind entweder mechanischer Natur, oder chemische Niederschläge aus dem Meerwasser oder es sind Bildungen, die von Organismen herkommen. Der größte Teil der Schichten, die wir heute auf der Erde kennen, sind Bildungen von Meeren. Landbildungen kennen wir relativ wenige. In den marinen Bildungen der Vorzeit sind die Fossilien enthalten. Sie geben uns die Möglichkeit, die Faunen und Floren der Vorwelt zu rekonstruieren, die klimatischen, geographischen und die physikalischen

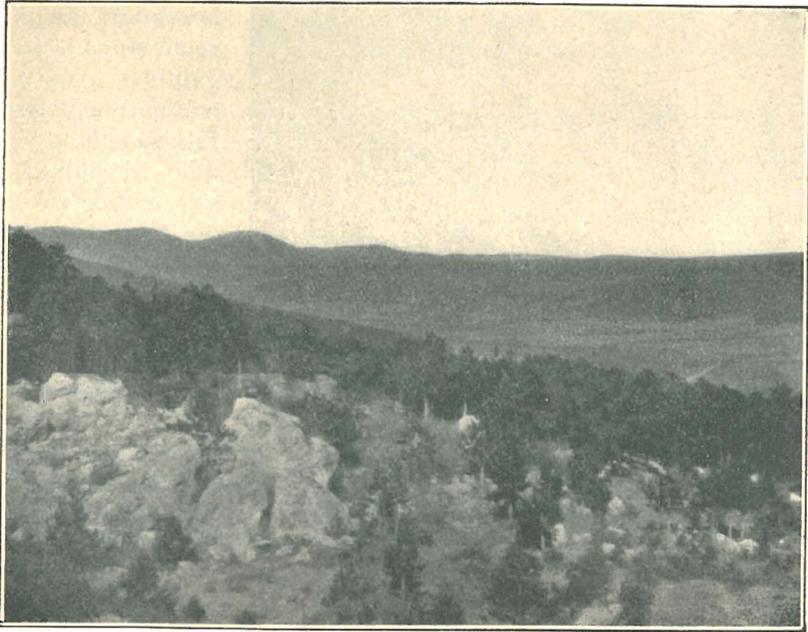


Fig. 22. Strandterrassen im Piestingtal in Niederösterreich. Im Hintergrunde die Mandlingketten.

Die Strandterrassen stammen aus der Zeit, als das Wiener Becken noch vom Meere erfüllt war.
Photographie von L. Kober.

Verhältnisse jener Zeiten zu deuten. Einstige Meeresablagerungen bilden heute die höchsten Gipfel unserer Hochgebirge, bis zu 9000 *m* über dem Meeresspiegel erhoben. Daraus können wir auf gewaltige Bodenbewegungen der Erdrinde schließen.

Wir unterscheiden Strand-, Flachsee- und Hochseeablagerungen. Die ersteren nennt man auch Litoral-, die zweiten Schelfbildungen. Die Hochseebildungen sind die eigentlichen marinen oder pelagischen Sedimente.

Die Tiefe dieser einzelnen Zonen ist ganz verschieden und damit ist auch die Faunenvergesellschaftung stets eine andere. Die Strandbildungen liegen zur Zeit der Ebbe trocken. Die Schelfablagerungen

gehören einer tieferen bis 200 *m* reichenden Zone an. Die Nordsee ist ein Schelfmeer. Die Hochseebildungen beginnen mit dem Steil-



Fig. 23. Tier-Fährten im Sandstein.
Aus E. Haug, *Traité de géologie II.*



Fig. 24. Fossile Regentropfen mit
Trockenrisse.
Aus Kayser, *Allgemeine Geologie.*

abfall der Kontinente auf den Boden der Ozeane. Sie gehen bis in die Tiefe von 9000 *m*.

Küsten- oder Strandwälle werden besonders in Zeiten recht stürmischer See gebildet. Die Wogen wühlenden Bodenauf, führen Sand, Kies und Schlamm mit sich, rollen sie gegen die Ufer. Besonders starke Wogen werfen diese Materialien landeinwärts und türmen sie zu dem Ufer- rand parallelen Dämmen auf. Durch solche Uferwälle können mit der Zeit auch flache Meeresteile abgeschnürt werden.

Die Strandablagerungen schließen an die Strandwälle an, bestehen aus Schutt, Kies, Sand. Wellenfurchen, Trockenrisse, Kriechspuren (Fig. 23 und 24) und undeutliche Schichtung sieht man in solchen Sedimenten häufig, auch Kreuzschichtung. Die Schalen der Schnecken, Muscheln sind häufig zertrümmert und abgerollt. Austern, dickschalige Schnecken und Muscheln, Seeigel, Krabben, Krebse, finden wir hier.

Die Schelfablagerungen sind die Region des feineren Materials. Hier bilden sich die feineren Küstensande und Tone. Umlagerung der Ablagerungen ist in der bis 100 *m* tiefen Zone häufig.

Die untermeerischen Ablagerungen sind feste Bestandteile in gröberer oder feinerer Form, vom Festlande herrührend, transportiert durch fließendes Wasser. Es können auch Auslaugungsprodukte sein, die im Meere dann chemische Niederschläge bilden. Auswurfsmassen über-, besonders aber untermeerischer Vulkane bilden den Untergrund des Ozeans, ferner äolische Staubmassen, endlich kalkige und kieselige Ausscheidungen von Lebewesen.

Die marinen Ablagerungen sind folgende:

Der Globigerinenschlamm, ein Kalkschlamm von grauer Farbe, bestehend aus Foraminiferen, besonders aus den Schalen von Globigerinen. Er ist sehr reich an Kalk. In typischer Entwicklung ist er in der Tiefe von 1000 *m* zu finden. Er ist eines der weitaus wichtigsten Gesteine am Boden des Meeres, findet sich besonders im Atlantischen, dann im Indischen und Pazifischen Ozean.

Der Pteropodenschlamm besteht hauptsächlich aus den Schälchen von Pteropoden mit fast 80% Kalk, entsteht nur in tropischen und subtropischen Meeren.

Der Diatomeenschlamm findet sich hauptsächlich in den Polar-meeren und besteht aus den Resten von Kieselalgen, Nadeln von Schwämmen und den Skeletten von Radiolarien.

Der rote Tiefseeton ist von bräunlicher Farbe ohne Kalk mit Resten von kieselschaligen Organismen. Er enthält kosmischen Staub und Manganknollen. Er nimmt besonders die Tiefböden der Ozeane ein.

Der Blauschlamm, ein Schlamm mit Körnern von Quarz enthält Reste von Kalkorganismen und von Kieselschalen, so von Kieselalgen und Radiolarien.

Organischen Ursprungs sind die Korallenriffe, die in tropischen Meeren Kalke und Dolomite zur Ablagerung bringen.

V. Die geologischen Wirkungen der Atmosphäre.

Die geologischen Wirkungen der Atmosphäre sind ebenso wie die der Hydrosphäre und der Organismen exogene Vorgänge; denn sie sind die Wirkungen von Kräften, die nicht von der Erde selbst ausgehen, sondern von anderen Weltkörpern, besonders von Sonne und Mond. Die von der Sonne kommende Wärme bewirkt den Kreislauf des Wassers, die Bewegungen der Luft. Wärme und Licht zerstören und bauen wieder auf, sie erhalten auch das Leben der Erde.

Die geologischen Wirkungen der Luft sind teils chemische, teils mechanische. Der Wasserdampf, die Kohlensäure, ferner der Sauerstoffgehalt der Luft kommen in Betracht. Der Wasserdampf ist die Quelle für die Niederschläge, Kohlensäure und Sauerstoff unterstützen das Wasser bei den Verwitterungs- und Zersetzungs Vorgängen der Gesteine. Hier kommen hauptsächlich die Wirkungen der bewegten Luft, der Winde, in Betracht. Sie werden als äolische Vorgänge bezeichnet und gliedern sich in zwei Kategorien: in zerstörende oder abtragende und neubildende oder ablagernde.

Wo der Erdboden mit Gras oder mit Wald bedeckt ist, wo die Winde geringe Stärke haben, keine starke Einwirkung der Sonne auf offenes Terrain vorhanden ist, da ist auch der Einfluß der Atmosphäre auf den Boden nicht groß. Hier spielt der Wind eine untergeordnete Rolle.

Ganz anders ist es in Ländern, wo der nackte Boden zu Tage tritt, kein Wasser vorhanden ist und tagelang die Sonne glühend heiß auf den Boden brennt oder mächtige Stürme eisig kalt über

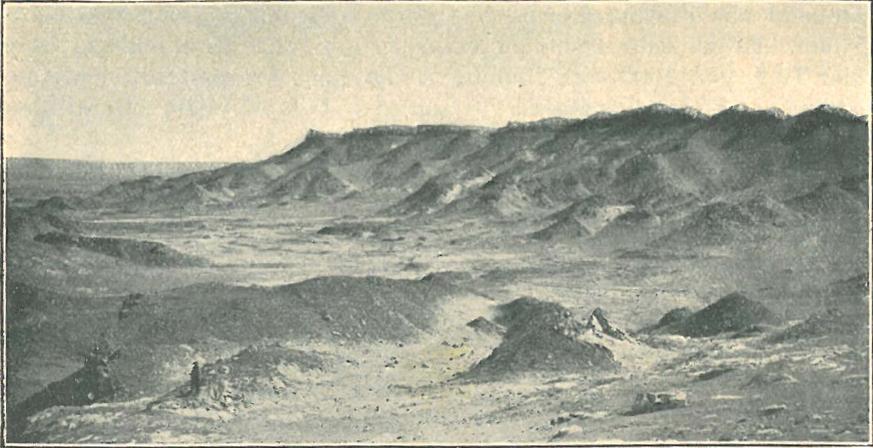


Fig. 25. Wadi Ismail bei Dassel. Lybische Wüste. Abtragung der Gesteine durch den Wind.
Photographie des geologischen Instituts der Universität Wien.

den trockenen Boden dahinfegen. Im Hochgebirge sind die Stürme häufiger und weitaus heftiger als in der Niederung. Sand, Staub führt der Sturm mit sich, seine Gewalt bricht sich in den Wänden, lockert Fels und Eis, und wenn die Sonne noch dazu kommt, stürzen mächtige Stein- und Eislawinen in die Tiefe. Dadurch wird das Gebirge erniedrigt. Freilich ist hier der Einfluß der Atmosphäre auf das Gebiet noch verhältnismäßig gering. Es entstehen nirgends eigene Landformen, direkt erzeugt durch die Wirkung der Atmosphäre.

Dies ist der Fall in den großen Wüstengebieten der Erde, in den abflußlosen Trockengebieten der Sahara, der arabischen Wüste, der Steppen Südrußlands oder in den Wüsten Asiens oder Amerikas. Wo jahrelang kein Regen fällt, nirgends ein Tropfen fließenden Wassers auf der Oberfläche zu sehen ist, der nackte Felsboden zu Tage tritt, monatelang die Sonne stark den Boden erhitzt, da ist die Atmosphäre das formengebende Element. Solche Länder haben Wüsten- oder arides Klima. Arides Klima erzeugt ganz spezifische Bodenformen. (Fig. 25.) Es finden sich auch unter anderen klimatischen Zonen geologische Vorgänge, die an solche des ariden Klimas anklingen, da sehen wir auch Gesteins- und Bodenformen des ariden Klimas entstehen.

In den großen Wüstengebieten wird tagsüber der Boden infolge der intensiven Sonnenstrahlung überaus stark erhitzt, die Gesteine dehnen sich aus, während in der Nacht die Temperatur oft bis an den Nullpunkt sinkt. Durch den jähen Wechsel zerspringt der Fels in große Blöcke, in Trümmer und Scherben, die selbst wieder durch die Sonnenwirkung chemisch zersetzt werden. So zerfällt der Granit in Grus, der Sandstein in losen Sand. Sand und Staub liegen lose auf dem Boden. Bei heftigen Winden entstehen die



Fig. 26. Terrassen im Löß am Gehänge des Gneixendorfer Tälchens nordöstlich von Krems.
Photographie des geographischen Instituts der Universität Wien. Von E. Forster.

berüchtigten Sand- und Staubstürme, oft von solch verheerender Mächtigkeit, daß ganze Karawanen darunter zu Grunde gehen. Durch das Anschlagen der Sandkörner an den Boden werden alle leichteren Teile bewegt, vom Wind fortgeführt, der Boden wird ausgeblasen. Was in anderen Gegenden das Wasser besorgt, besorgt hier der Wind. Durch das Anschlagen der Sandkörner an den Boden, an die Felsen, entsteht eine Glättung an ihnen, die Gesteine sehen wie geschliffen oder poliert aus. Das bezeichnet man als Windschliff. Überall in Wüstengegenden finden wir die Gesteine eigentümlich glänzend gebräunt, mit einer Manganschicht überzogen. Diesen Überzug, der ganz bezeichnend ist für arides Klima, heißt man Wüstenlack.

Die ursprünglich einheitliche und ebene Fläche wird vom Winde so lange bearbeitet, bis die Schichttafel der abflußlosen Gebiete zer-

fällt, weite kahle Ebenen wechseln mit Sandwüsten. Von der ehemaligen Schichttafel bleiben noch einzelne Reste stehen, die sogenannten Zeugenberge. Aber unablässig arbeitet an ihnen der Wind, bis auch sie vom Boden verschwinden. Der Sand, in den sie zerfallen sind, ist vom Winde fortgetragen worden. An anderen Stellen häuft er sich zu hohen Dünen auf. (Fig. 27.) Die Dünen bilden weite und große Sandlager, ganze Wüsten, so das Nefud in Arabien. Es ist ein feiner Quarzsand, von gelber bis roter Farbe, meist ungeschichtet, oft zu hohen Hügeln aufgetürmt. Im Sturme wandern die Dünen, überschreiten den Rand der Wüste. Wenn sie auf ihrer Wanderung in fruchtbare Gebiete

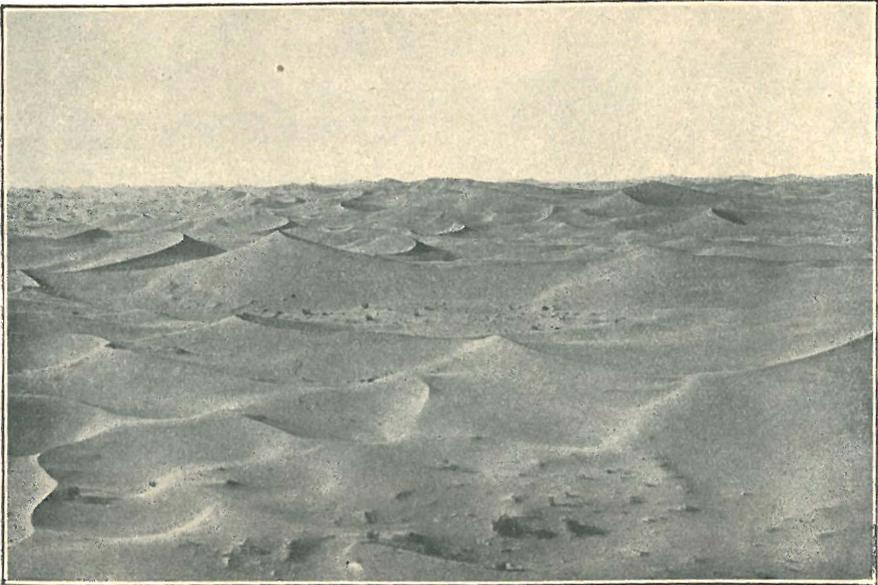


Fig. 27. Sandmeer von Beni-Abbès (Sahara).

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

dringen, so begraben sie mit ihrem Sande alles Leben. Die Sande der Wüste, wie überhaupt Gesteine, die im ariden Klima entstanden sind, haben lebhaft gelbe bis rote Farben und enthalten häufig auch Salz- oder Gipslager. Die lebhaften Farben entstehen durch Oxydationsprozesse, hervorgerufen durch die intensive Sonnenbestrahlung, die Salz- und Gipslager entstehen als der Niederschlag der Wässer, die auf ihrem kurzen Lauf auf dem Boden das ausgeblühte Salz und Gips aufnehmen. Bei der Verdunstung des Wassers bleiben Salz und Gips wieder zurück. Die Sandsteine, die in aridem Klima entstehen, haben auch häufig die Wellen- oder Kreuzschichtung. Sie gehen aus der Verfestigung der Dünen hervor. Besteht der Sand nur aus Quarz, so entsteht bei der Verfestigung ein Quarzit. Das Bindemittel ist die Kieselsäure. Gesteine des Bodens werden durch den Wind ab-

geschliffen. Gewöhnlich sind die Gesteine infolge der wechselnden Windrichtung auf mehreren Seiten abgeschliffen, es finden sich 3—4 Schliffflächen. Solche Gesteine nennt man Dreikanter. Der Windschliff erzeugt auch an Sandsteinen unregelmäßige Löcher, Höhlungen und Taschen, die dem Gestein ein oft eigenartig gegittertes oder bienenwabenartiges Aussehen verleihen. Die Dünen zeigen auf der Oberfläche deutlich die Einwirkung des Windes, es zeigen sich Windfurchen.

In den Trockengebieten spielen die atmosphärischen Staubablagerungen eine große Rolle. Wenn kein Regen fällt, häufen sich die Verwitterungsprodukte des Bodens auf, Ton, lehmartige Gesteine zerfallen in Staub. Der Staub liegt gleichmäßig auf dem Untergrund oder bildet dünenartige Hügel. Erhebt sich ein Sturm, so gerät die ganze Masse in Bewegung, erhebt sich hoch in die Luft, die Sonne verdunkelnd. Die Staubstürme erstrecken sich über große Gebiete. Legt sich der Sturm, so fällt der Staub zu Boden, er haftet insbesondere an Pflanzen leichter als auf nacktem Boden. Schicht legt sich auf Schicht, die Gräser unter sich begrabend. So entstehen mächtige Staubablagerungen, die nach der Verfestigung Löß genannt werden. Der Löß ist ein feines mehliges Pulver, etwas verfestigt, das aber sich leicht zerreiben läßt und häufig kleine Landschnecken und Würzelchen enthält. Große Lößmassen finden sich in China, als die Ablagerungsprodukte großer Staubstürme, die aus dem Innern des asiatischen Hochlandes hergekommen sind.

Alle diese Bildungen sind aber nicht auf diese Gebiete allein beschränkt. Dünen bilden sich an der Ostsee, in Pommern, Sanddünen in den großen Flugsandgebieten der Donau in Ungarn. Löß entstand zur Eiszeit in den eisfreien Gebieten, Lößablagerungen finden wir an der Donau. (Fig. 26.) Auch in unseren Gegenden entstehen an Sandsteinen die oben erwähnten Skulpturen und Windschliffe.

VI. Die geologischen Wirkungen der Organismen.

Die Wirkungen, die von Pflanzen ausgehen, sind zu trennen von denen der Tiere.

Zerstörend wirken manche Bakterien, die in die feinsten Poren der Gesteine eindringen, und die Kohlen- und Stickstoff in Form humoser Stoffe zurücklassen. So leiten sie die Zerstörung des gesunden Gesteines ein. Die Pflanzen verwesen im Boden, dadurch werden Humusstoffe gebildet, die wieder zersetzend auf das Gestein einwirken.

Im Meere gibt es eine Reihe von Tieren, wie Bohrmuscheln, die im stande sind, Löcher in das härteste Gestein zu bohren. Auch auf dem festen Lande lockern grabende und wühlende Tiere (Regenwürmer) das Erdreich auf.

Der Zerstörung gegenüber bildet die Neubildung eine viel größere Rolle. In erster Linie ist hier zu nennen die Bildung der Kohlen. An der Oberfläche verwesen die Pflanzen. Die Zellulose ($C_6 H_{10} O_5$), der

Hauptbestandteil der Pflanze, zerfällt unter Einwirkung von Bakterien in Kohlensäure und Wasser. Unter Luftabschluß aber bildet sich neben Kohlensäure und Wasser noch Sumpfgas oder Methan (CH_4). Es tritt, da hier Wasserstoff und Sauerstoff schneller ausgeschieden werden, eine Anreicherung an Kohlenstoff ein, die sich mit fortschreitender Umwandlung immer mehr steigert, bis endlich nur reiner Kohlenstoff zurückbleibt. Diesen Umwandlungsprozeß nennt man Verkohlung.

Die vermodernden Pflanzen bilden zuerst Torflager. Es sind dies Anhäufungen vermodernder Pflanzen in Sümpfen, stagnierenden Gewässern, eine dicke filzartige Pflanzendecke, die von den Ufern

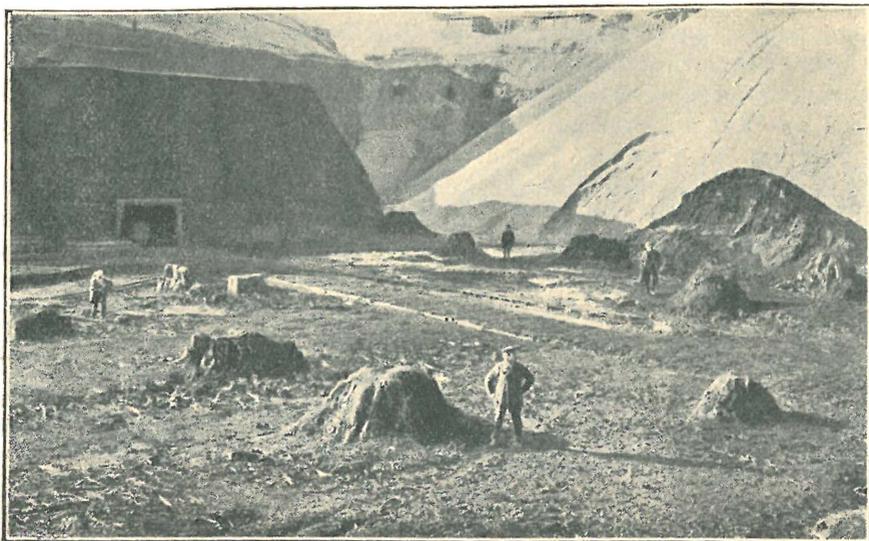


Fig. 28. Aufrechte Stümpfe von Sumpfpflanzen in der Sohle des Tagebaues der Braunkohlengrube Viktoria bei Senftenberg in der Niederlausitz.
Aus E. Kayser, Allgemeine Geologie 1909.

gegen die Mitte eines stehenden Wassers vordringt. Die unteren Teile sterben ab, verfaulen unter Luftabschluß und bilden eine vegetabilische Decke von brauner oder schwarzer Farbe. Sie finden sich besonders in kälteren Klimaten. Man unterscheidet Flach- und Hochmoore. Die ersteren entstehen in Niederungen. Die Flora besteht aus Riedgräsern, Schilfrohr, Binsen, Moosen mit vereinzelt Birken, Erlen.

Die Hochmoore sind weit verbreitet und finden sich im Gebirge. Ihre Flora besteht aus Heidearten und Torfmoosen.

Die Braunkohlen sind untergegangene und verschüttete ehemalige Flachmoore. Die Steinkohlen haben dieselbe Entstehungsweise. Der Verkohlungsprozeß ist aber bedeutend weiter fortgeschritten. Im Anthrazit liegt fast nur reiner Kohlenstoff vor.

In Braunkohlenlagern findet man häufig die aufrechtstehenden Wurzelstöcke in den Schichten eingebettet. (Fig. 28.) Die Über-

gangsstufen vom unveränderten Holz in die verkohlte Substanz bildet der Lignit. Hier ist die Holzstruktur vollständig noch erhalten. In Braunkohlenlagern findet man häufig Ton- und Lehm-lager mit Blattabdrücken. Reichern sich die Blätter an, entstehen dünne Kohlenschmitzen. Ist die Lage an Pflanzenbestandteilen, an Blättern, Ästen und Zweigen reich, so entsteht ein Kohlenlager oder ein Kohlenflöz. Meist liegen mehrere solche Flöze übereinander. Sie sind durch kohlenleeres, sogenanntes taubes Gestein voneinander geschieden. Dieses ist aus verschiedenem Material zusammengesetzt. Entstand ein solches Flöz an der Küste, so finden sich Meeresfossilien eingeschaltet, liegt ein Seebecken auf festem Lande vor, so sind Süßwasserfossilien eingeschwemmt, ist der sumpfige Waldboden von einer Sanddüne bedeckt worden, so sieht man das Flöz heute überlagert von Sanden. Mehrere Flöze übereinander bezeugen, daß das sumpfige Klima lange Zeit hindurch bestanden, zeitweise aber kurze Unterbrechungen erfahren hat. Die Baumstrünke, welche aus dem Kohlenflöz in das darüberliegende Sandlager hineinragen, sagen, daß ein sumpfiger Waldboden von Sanden zugedeckt worden ist. Diese können wir uns als wandernde Dünen oder auch als angeschwemmtes Material denken. In manchen Fällen läßt sich das in der Natur deutlich unterscheiden.

An der Braunkohlenbildung beteiligen sich Sumpfyypressen. Die Steinkohlen sind entstanden durch Verkohlung von Sigillarien und Lepidodendren und dann von großen Schachtelhalmen.

Von den Pflanzen wird auch Kalk abgesondert. Zu den wichtigsten Kalkbildnern im Pflanzenreich gehören die Kalkalgen. Die Lithotham-nien sind z. B. solche Kalkbildner. Es sind Algen, die in Form von Knollen- oder rasenartigen Anhäufungen an der Küste im seichten Wasser leben. Mit Hilfe von Bryozoen und Korallen können sie beträchtliche Anhäufungen von Kalken in Form von Riffen schaffen.

Aus den winzigen Schälchen der Kieselalgen entstehen kieselige Schlammabsätze, sowohl im süßen Wasser als auch im Meere.

Von weitaus größerer Bedeutung ist die Neubildung von Gesteinen durch die Tiere. Die großen Kalkmassen, die auf der Erde existieren, verdanken ihnen hauptsächlich ihre Entstehung. Wo sich Schalenträger in großer Menge finden, da häufen sich nach dem Tode des Tieres die Hartteile auf. Aus der Ansammlung unzähliger Schalen und Schälchen können große Kalkablagerungen hervorgehen.

Unter den Kalkbildnern sind in erster Linie die Korallen zu nennen. Sie leben meist in großer Zahl beisammen, in sogenannten Kolonien. Korallen gedeihen bloß in tropischen Meeren in einer Tiefe bis höchstens 40 m im warmen, reinen und bewegten Wasser, hauptsächlich im Indischen und Pazifischen Ozean. Die Korallenriffe ziehen als sogenannte Küsten- oder Saumriffe längs der Küste hin, vom Meeresboden bis an die Meeresoberfläche aufreichend und von der Küste

durch einen Meeresarm getrennt. Eine zweite Art der Korallenriffe sind die Wall- oder Barrierenriffe, die weiter meerwärts der Küste vorgelagert sind. Sie haben ganz bedeutende Größe. Das Barrierenriff an der Nordostküste Australiens hat eine Länge von etwa 1800 *km*. Die eigenartigsten Riffbildungen sind die Atolle oder Lagunenriffe. Es sind ringförmige Riffe, außen steil in große Tiefen abfallend. Sie schließen eine seichte Lagune ein und sitzen selbst als ein mehr oder weniger dicker Überzug auf einer fremden, submarinen Unterlage. Der Durchmesser der größten Lagunen kann 100 *km* sein, die Breite des Riffes bis 1 *km*.

Auf Korallenriffen herrscht reiches Leben. Die Korallen selbst bilden eine wenig über die Oberfläche des Meeres aufreichende Kalkmasse, Kalkrasen, Knollen mit lebhaften Farben, durchzogen von vielen Löchern und Höhlungen. Bryozoen, Kalkalgen, viele Muscheln und Schnecken leben auf der Oberfläche oder in den Höhlungen des Riffes. Durch die Brandung des Meeres werden die Schalen abgestorbener Tiere zerrieben. So entsteht ein Kalksand, der die Höhlungen ausfüllt und das Riff verfestigen hilft. Das Leben der Korallen ist an die Oberfläche gebunden. Der innere Teil eines Riffes sowie der untere sind abgestorbene und verfestigte Kalkmassen, die später unter dem Einfluß des Meeres eine Umwandlung erfahren. Aus dem Kalk wird oft Dolomit. Bei dieser Umwandlung geht der organische Gehalt der Kalkmassen fast ganz verloren. Korallenriffe sind im allgemeinen schichtungslös.

Als Kalkbildner sind auch die Mollusken zu erwähnen. Von Muscheln spielen z. B. Austern eine große Rolle. Die Austern leben in geringer Tiefe in großer Zahl beieinander. Sie bilden Bänke, die zu Kalkkomplexen werden. Unter den Cephalopoden (Kopffüßlern) sind die Ammoniten zu erwähnen. In manchen Schichten finden sie sich in so großer Zahl, daß man von Cephalopodenkalken spricht.

Aus tierischen und pflanzlichen Resten sind auch die Kohlenwasserstoffe der Erdkruste hervorgegangen. Hier sind zu nennen das Erdöl (Rohpetroleum) und das Erdpech (Asphalt). Nach der Ansicht der meisten Forscher ist das Petroleum aus Fetteilen der Tiere und Ölen von Pflanzen entstanden. Es tritt aus der Tiefe der Erde auf Spalten und Klüften in die oberen Schichten, durchtränkt sie in höherem oder geringerem Grade. Die bedeutendsten Erdölvorkommnisse sind in den Vereinigten Staaten, dann in Baku am Kaspischee, auf Java und Borneo, endlich in Galizien und Rumänien.

VII. Die vulkanischen Erscheinungen.

Die vulkanischen Erscheinungen sind ebenso wie die Bewegungsphänomene der Erdrinde Vorgänge, die auf Kräfte zurückgeführt werden, welche ihren Sitz im Innern der Erde haben. Vornehmlich ist die Eigenwärme der Erde die treibende Kraft. Diese Vor-

gänge und Veränderungen werden daher auch endogene Vorgänge genannt und den früher besprochenen, den exogenen gegenübergestellt.

Zu den vulkanischen Erscheinungen gehören alle jene Vorgänge, die mit dem Aufsteigen gasiger, schmelzflüssiger Stoffe, besonders aber mit dem Empordringen von Magma zusammenhängen. Diese Vorgänge spielen sich zum Teil nur in der Tiefe der Erdrinde ab, erreichen nicht mehr die Oberfläche, sind unseren Augen unsichtbar. In dem Falle spricht man von Tiefeneruptionen. Gelangen aber die aufsteigenden Schmelzflüsse an die Oberfläche, breiten sie sich unter mannigfaltigen Erscheinungen aus, so treten diese vulkanischen Erscheinungen gleichsam als ein Abbild der Tiefeneruption in den Kreis der Beobachtung.

Unter der festen Erdrinde liegt die Magmazone, in der sich die Gesteine im Schmelzflusse befinden. Bei der Erstarrung der Erde hat das Magma große Mengen von Gasen aufgenommen. Das Magma erstarrt infolge der Abkühlung der Erde und die Gase werden frei. Diese Entgasung des Magmas ist eine der Ursachen der vulkanischen Erscheinungen.

Die Tiefeneruptionen gehören zu den großartigsten Erscheinungen der Erdrinde. Sie werden erst der Beobachtung zugänglich, wenn die Erdrinde tief hinab abgetragen wird. Wir finden dann in vielen Gebieten der Erde die feste Erdrinde durchbrochen von gewaltigen Stöcken von Graniten und anderen Eruptivgesteinen. Die vulkanischen Erscheinungen der Oberfläche sind im Vergleich dazu viel geringer. Hier lassen sich verschiedene Stadien der vulkanischen Tätigkeit unterscheiden. Dringt das Magma auf Spalten und Klüften selbst an die Oberfläche, so entstehen Vulkane, aus deren Kratern sich die schmelzflüssigen Magmamassen hervordrängen. Bleibt aber das Magma in der Tiefe stecken, dringen bloß seine Dämpfe an die Oberfläche, so entstehen als Reaktion der vulkanischen Tätigkeit in der Tiefe bloß Aushauchungen von Dampf, Fumarolen und Mofetten genannt, an der Oberfläche. Unter den Dampfmassen spielt insbesondere der Wasserstoff eine große Rolle. Verbindet er sich

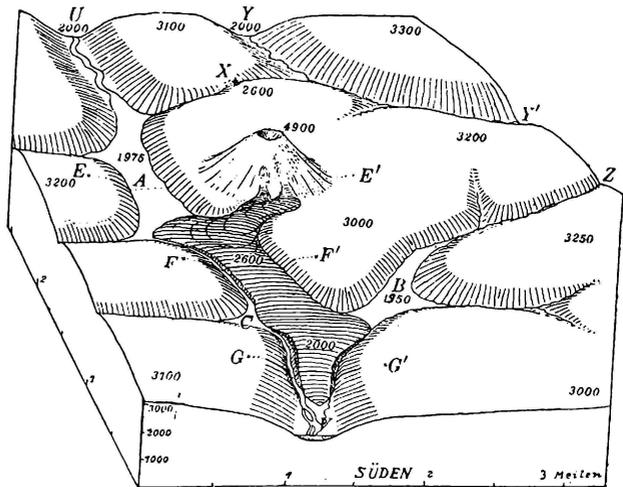


Fig. 29. Ein kleiner Vulkan mit Lavastrom.
Aus W. M. Davis, die erklärende Beschreibung der Landformen.

in der Tiefe mit Sauerstoff, so entstehen die juvenilen Wässer, die als Thermen und Geiser an die Oberfläche gelangen. Sie sind also ebenfalls Äußerungen vulkanischer Tätigkeit, die sich gewöhnlich als Nachklänge vulkanischer Ausbrüche einstellen.

Längs dem Abbruch der Alpen südlich von Wien tritt eine Reihe von heißen Quellen auf (Meidling, Baden, Vöslau usw.), auf der sogenannten Thermenlinie von Wien. (Siehe Fig. 40.)



Fig. 30. Fladenlava der Eruption des Vesuvs 1871.
Photographie des geologischen Instituts der Universität Wien.

Magmen, die reich an Gasen sind, verhalten sich an der Oberfläche anders als gasarme Magmen. Je gasreicher ein Magma ist, desto explosiver gestaltet sich die vulkanische Tätigkeit. Unter dem höheren Druck der Gase wird das Magma mit großer Gewalt an die Oberfläche getragen, und es kommt bei der Entspannung des Magmas durch den Austritt an die Oberfläche zu gewaltigen Explosionen. Hingegen steigen gasarme Magmen langsam nach oben, füllen den Krater und fließen von hier in schmelzflüssigem Zustande ohne explosive Vorgänge aus. Magmen, reich an Kieselsäure, heißen saure Magmen, im Gegensatz zu den kieselsäurearmen, den basischen. Die ersteren sind zähflüssig, die letzteren dünnflüssig.

Wie entsteht ein Vulkan? Wir müssen uns vorstellen, daß aus der Tiefe der Erde, aus einem Magmaherde auf Spalten und Klüften schmelzflüssige Massen gegen die Oberfläche aufsteigen. Die große Hitze des Magma schmilzt Teile der Erdkrinde ein, so daß sie immer

dünnere wird. Andererseits kann durch einen Einbruch eine bedeutende Bruchspalte in der Erdkrinde geschaffen und so dem Magma die Möglichkeit gegeben werden, an die Oberfläche zu gelangen. (Fig. 29.)

Das Material, das an die Oberfläche gelangt, ist zum größten Teil Magma. Es können auch Teile der festen Erdkrinde losgerissen und in Form von Blöcken, Trümmern mit dem vulkanischen Material ausgeworfen werden. Ein Vulkan baut sich fast ganz aus eruptivem Material aus.

Fließt das Magma aus, erstarrt es an der Oberfläche, so entstehen die Laven. Wird dagegen infolge hoher Dampfspannung das aufdringende Magma ausgeschleudert, so entstehen lose Auswurfsmassen.

Die Laven (Fig. 30) haben eine bestimmte chemische und petrographische Beschaffenheit. Die chemische Zusammensetzung geht Hand in Hand mit der Beschaffenheit des Magmas. Die petrographische Ausbildung ist in einem und demselben Lavastrom größeren Variationen unterworfen und hängt ab von der Schnelligkeit der Erstarrung und dem Drucke. Porphyrische Ausbildung ist bei Laven häufig. In einer Grundmasse sind einzelne Minerale von größerer Gestalt eingeschlossen. Sie sind früher entstanden, als die Grundmasse noch im Schmelzflusse sich befand und zeigen daher häufig auch Aufschmelzungserscheinungen. In dem Innern eines Lavastromes ist größerer Druck und hohe Temperatur. Hier erkaltet das Magma langsamer. Es entstehen dichtere Gesteine. An der Oberfläche



Fig. 31. Gedrehte Bombe. Kanarische Inseln.

Nach F. Berwerth, Aus E. Weinschenk, petrographisches Vademekum.

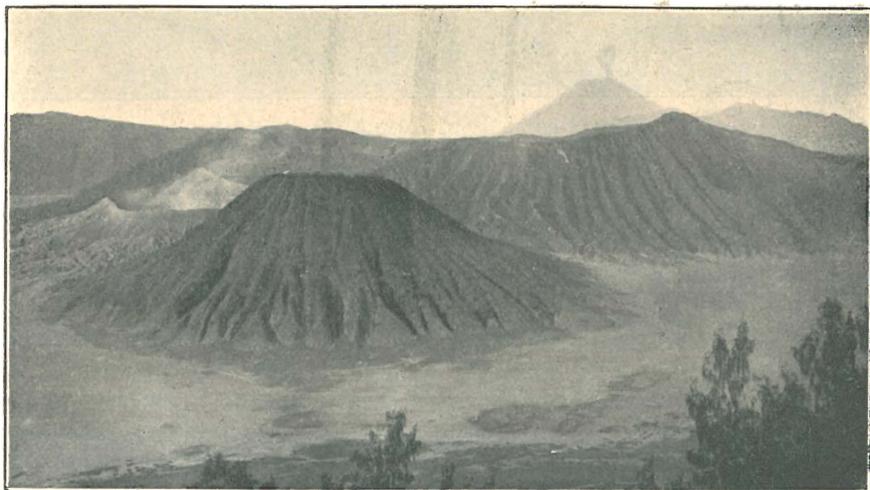


Fig. 32. Vulkanlandschaft im Innern des Tenggerkraters, Java.
Photographie des geologischen Instituts der Universität Wien.

dagegen sind sie porös und schlackig. Bei plötzlicher Erstarrung entstehen glasartige Laven.

Zu den losen Auswurfsmassen gehören die Bomben, Lapilli, die vulkanischen Aschen und Sande, die alle zusammen eine Einheit bilden und als vulkanische Tuffe den Laven gegenübergestellt werden können.

Bomben (Fig. 31) sind Auswürflinge von Faust- bis Kopfgröße, Lapilli sind die kleineren Auswürflinge. Die Bomben werden im glühenden Zustande ausgeschleudert. Sie nehmen beim Niederfallen auf den Boden häufig eine rundliche langgezogene Form an. Die vulkanischen

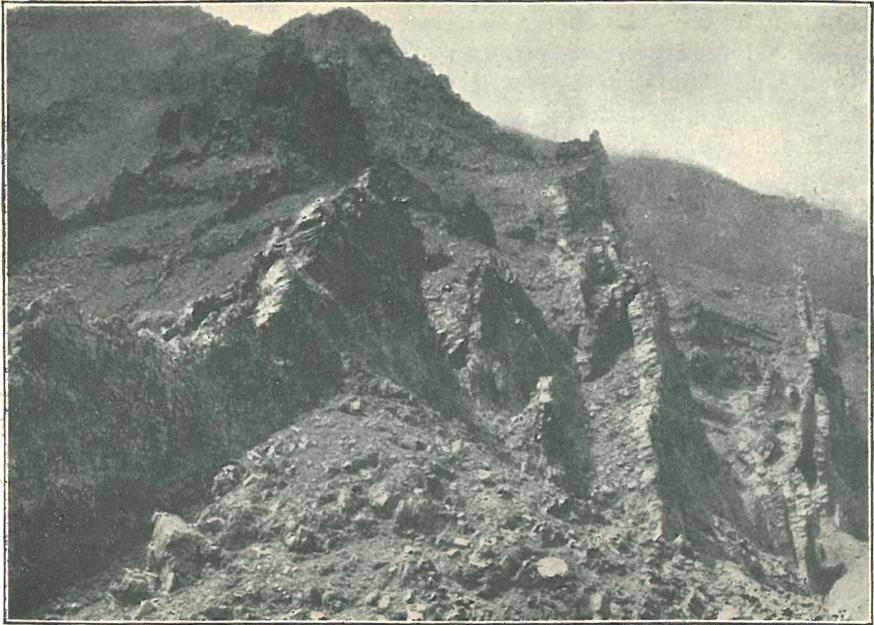


Fig. 33. Gänge (1—5 m dick) im Valle del Bove. Ätna.
Photographie von E. Chaix.

Aschen sind ganz fein zerstäubte Magmateilchen. Tuffe sind geschichtete Anhäufungen von vulkanischen Aschen und Sanden, denen Bomben und Lapilli beigemischt sind.

Die Gestalt eines Vulkans ist meist die eines breiten kegelförmigen Berges, oben abgestumpft. Er setzt sich aus übereinandergelagerten Massen und Schichten vulkanischen Ursprungs zusammen. Die Schichten sind konzentrisch um die Eruptionsstelle, den Krater, angeordnet und fallen gegen außen flach ab. Der Krater setzt nach unten hin ungefähr der Achse des Vulkans folgend in den Schlot oder Kanal fort. Dieser ist der Zufuhrkanal, durch den die schmelzflüssigen Massen aus dem Magmaherde an die Oberfläche gelangen. (Fig. 32.)

In Zeiten der Ruhe ist der Schlot geschlossen. Den Verschuß bildet der Kraterboden, aus dem oft steil die Kraterwände sich bis zum Kraterrand erheben. Das Magma dringt aber nicht nur im Hauptkanal an die Oberfläche, sondern auch auf seitlichen Spalten und Gängen. (Fig. 33.) Dann entstehen auf den Flanken eines Vulkankegels kleine Nebenvulkane. (Fig. 34.) Der einfache Vulkan wird zu einem zusammengesetzten. Ebenso können, wenn der Krater des Vulkans sehr breit war, im Krater, selbst bei einer späteren Phase eruptiver Tätigkeit, neue Vulkankegel, ein neuer Krater von geringeren Dimensionen entstehen. Wird durch die Erosion der alte Kraterrand zum Teil abgetragen, so umgibt er in Form eines Ringes den jungen neu-entstandenen Krater. Ein solcher alter Kratering ist der Monte Somma des Vesuv, innerhalb dessen der heute tätige Vesuvkegel liegt. Dieser Typus von Vulkanen, der sich aus Lagen von Tuffen

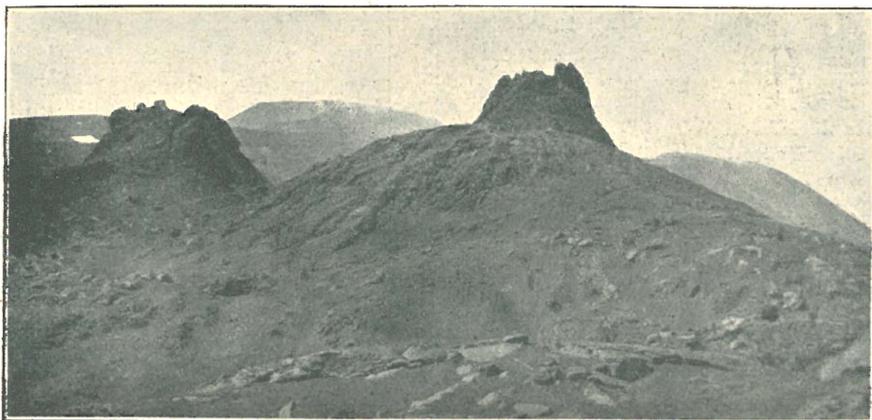


Fig. 34. Nebenkrater auf dem Nordabhang des Ätna.
Photographie von E. Chaix.

und Lagen von Laven aufbaut, heißt geschichteter Vulkan. Ätna und Vesuv sind Vertreter dieser Art.

Ein anderer Typus von Vulkanen ist der sogenannte Maartypus. Hier kommt es nicht zur Aufschüttung von Kegeln. Die vulkanische Tätigkeit geht in Form heftiger Explosion infolge gasreicher Magmen vor sich, es entstehen bloß sogenannte Explosionskrater, das sind trichterartige Vertiefungen im Boden, die entweder trocken liegen oder vom Wasser erfüllt sind. Sie sind Durchschlagsröhren, die von einem kleinen Walle von eruptivem Material eingefast werden. Sie werden auch, da sich die vulkanische Tätigkeit bloß auf die Schaffung von Kanälen bzw. Kratern beschränkt hat, als Vulkanembryonen aufgefaßt. Solche Maare finden sich auf der schwäbischen Alb, in der Eifel, dann im Albanergebirge bei Rom.

Ein weiterer Typus von Vulkanbergen ist der Hawaiiitypus. Es sind ganz flache Kuppeln, nur aus Lavaströmen bestehend. Die

Lava ist basaltisch und von hoher Dünnsflüssigkeit und fließt mit großer Geschwindigkeit ab. Hieher gehören die Vulkane der Hawaii-Inseln, so der Mauna Loa und der Kilauea. Im Krater dieser Vulkanberge steht die kochende Lava und fließt von Zeit zu Zeit über den Kraterrand in Form von Lavaströmen ab.

Vulkane wie der Mont Pelée auf der Insel Martinique unterscheiden sich von den anderen Typen dadurch, daß mächtige Dampfvolken dem Krater entströmten, ohne daß es zum Ausfluß

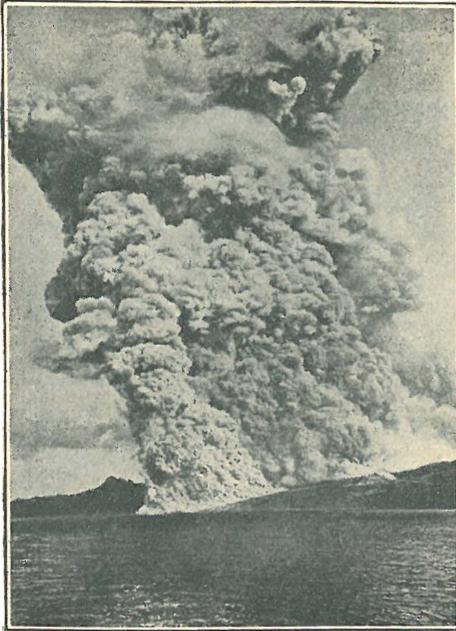


Fig. 35. Die glühende Wolke des Mt. Pelée, am 16. Dez. 1902 das Meer erreichend.

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*



Fig. 36. Ein Ausbruch des Vesuv am 13. April 1906.

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

von Lava kommt. Bei dem Ausbruch des Peléevulkans am 8. Mai 1902 erhob sich aus dem Krater eine mächtige Glutwolke bis 4000 m Höhe und stürzte sich gleich einer Lawine den Berg herab ins Meer. Die Temperatur dieser Gasmasse wird auf 800° geschätzt. 40.000 Menschen verloren dabei in wenigen Augenblicken das Leben. (Fig. 35.)

Beim Vesuv (Fig. 36) oder Ätna beginnt die vulkanische Tätigkeit mit Dampfaushauchungen. Sie bilden eine oft eigenartige Wolke. Durch Aschenteile ist sie schwarz gefärbt. Oben breitet sich die Wolke schirmförmig aus, es entsteht die bekannte Pinienform. Die Dampfaushauchungen sind häufig auch von Erdbeben begleitet. Durch die Verdichtung des Wasserdampfes in den Aschenwolken entstehen wolkenbruchartige Regengüsse. Diese vermischen sich mit den aus-

geworfenen Aschen zu Schlammströmen, die mit verheerender Wirkung weithin sich ergießen. Aschen, Sande, Lapilli und Bomben, fallen auf den Boden nieder, häufen sich zu Tuffen rings um den Krater auf. Die schweren Teile werden dabei weniger weit getragen als die leichteren. Um den Kraterrand lagern sich die losgerissenen Trümmer des Schlotes, die Bomben, weiter hinausgetragen werden die Sande und noch weiter die Aschen. Sande und Aschen werden vom Winde oft weithin verweht. Lavaströme begraben unter sich alles Leben. Die Verschüttung



Fig. 37. Kugelig-schalig abgesonderter Basalt, Lukavec, Temeser Komitat.
Photographie des geologischen Instituts der Universität Wien. Von L. Lóczy.

der Stadt Pompeji im Jahre 79 ist durch einen mehrere Tage andauernden Aschenregen zu stande gekommen.

Die Lavaströme ergießen sich in Gestalt von Strömen oder Decken. Beim Erstarren bilden sich eigenartige Absonderungsformen, so die Block- oder Schollenlava, die Fladen- oder Stricklava. (Fig. 30, 37 und 38.)

Als Nachklänge vulkanischer Tätigkeit sind die Fumarolen, Thermen, Geiser, Mofetten und Säuerlinge zu betrachten. Fumarolen, Mofetten sind Dampfaushauchungen. Hieher gehört die Solfatara von Neapel, ein alter Krater, aus dem große Mengen von Schwefelverbindungen entweichen und sich als Schwefel niederschlagen. Mofetten sind Exhalationen von Kohlensäure, so die Hundsgrotte bei Neapel. Als Säuerlinge werden Quellen bezeichnet, die sich durch Absorption von CO_2 auszeichnen.

Thermen sind Quellen, die wärmer sind als die Jahrestemperatur. Thermen lassen oft Beziehungen zu Bruchlinien erkennen, so die Thermenlinie von Wien, an der die Alpen gegen das Wiener Becken abgesunken sind.

Zu den heißen Quellen gehören die Springquellen oder Geiser. Sie verdanken ihren Namen dem großen Geiser auf Island. Geiser finden sich auf Island, auf Neuseeland und im Yellowstonepark in Nordamerika. Es sind mehr oder weniger breite Röhren und enthalten heißes kieselsäurereiches Wasser.

In verschiedenen Abständen, die bei jedem Geiser aber konstant sind, werden unter donnerartigen unterirdischen Geräuschen die Wassermassen hoch in die Luft geschleudert. Die Eruption des



Fig. 38. Ende eines Lavastromes in einer Straße von Boscotrecase. Eruption des Vesuv, April 1906.

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

heißes Wassers geschieht infolge starker Überhitzung von unten her. Tritt eine Überhitzung der tieferen Wasserschichten ein, so steigen Dampfblasen an die Oberfläche, das Wasser beginnt zu wallen. Ist die Dampfspannung zu groß, hebt sie die Wassersäule. Die Dampfmassen bahnen sich den Weg an die Oberfläche, dabei reißen sie das Wasser mit solcher Gewalt mit sich, daß es viele Meter hoch springbrunnenartig in die Höhe geschleudert wird.

Mit der Geiserbildung vereinigt sich Kieselsinterbildung.

Beim großen Geiser auf Island lassen sich kleine und große Eruptionen unterscheiden. Die kleinen erfolgen in Abständen von 80–90 Minuten, alle 24–30 Stunden treten die großen Eruptionen auf, bei denen das Wasser bis zu 30 m Höhe emporgeschleudert wird.

In Island und Neuseeland finden sich die Geiser in Gebieten vulkanischer Tätigkeit.

Die Vulkane wurden eingeteilt in tätige und erloschene Vulkane. Doch diese Einteilung hat wenig Wert, denn es ereignet sich, daß für erloschen gehaltene Vulkane auf einmal wieder ihre Tätigkeit aufnehmen, flüssige Massen wieder aufsteigen. Es gibt auch vulkanische Vorgänge, die sich auf den Tiefen der Ozeane abspielen und die als untermeerische vulkanische Vorgänge bezeichnet werden. Die Vulkane finden sich auf der Erde hauptsächlich in den Regionen der jungen Kettengebirge und der sie begleitenden Einbrüche. Ein großartiger Vulkankranz umfaßt den Pazifischen Ozean. Er zieht aus dem Sunda Archipel über die japanischen Inseln, über Kamtschatka, über die Aläuten, setzt dann auf Amerika über und zieht längs der Westküste von Nord- und Südamerika bis auf dessen Südspitze. Von den Sundainseln zieht die Fortsetzung dieses Bogens über die Salomoninseln, Neuen Hebriden und Neuseeland bis auf die Antarktis.

Die atlantische Zone umfaßt San Mayen, Island, die Azoren, Kanaren, Kapverden und setzt fort auf St. Helena. Hieher gehört auch die mittelmeerische Zone, so der Ätna, Vesuv. Die Vulkane erheben sich auf langen und bogigen Linien, sie stehen auf großen Dislokationslinien der Erde.

Große Gebiete der Erde sind frei von Vulkanen. Es sind die inneren Teile der Kontinentalmassen, so der Norden Amerikas, Sibirien und die Hochländer Asiens, der nördliche und mittlere Teil Afrikas. Es sind jene Gebiete, die seit langer Zeit verfestigt sind. Die auf der Erdoberfläche sich abspielenden vulkanischen Erscheinungen sind gering gegenüber den gewaltigen Eruptionen, die sich in der Tiefe der Erdrinde abspielen. Auf den großen Dislokationslinien an der Grenze der Ozeane und Kontinentalsockel steigt das Magma auf und dringt in die Erdrinde ein.

VIII. Die Bewegungen der Lithosphäre.

Die Lithosphäre umgibt als eine feste starre Hülle den Erdkern. Es ist eine viele Kilometer breite Zone, die auf der Magmazonen aufruft. Durch das Aufliegen auf der weichen, in steter Umformung begriffenen Magmazonen ist die Erdrinde befähigt, die Bewegungen der Tiefe zum Teil mitzumachen. Es übertragen sich die Strömungen der Tiefe auf die gleichsam schwimmende Erdhaut. So erscheinen uns die Bewegungen der Erdrinde als Ausfluß von Vorgängen in der Tiefe der Erde, ähnlich wie die vulkanischen Erscheinungen, als endogene Äußerungen.

Die Bewegungen der Lithosphäre werden gegliedert in folgende drei Kategorien von Erscheinungen:

1. Die Erdbeben,
2. die kontinentalen Hebungen und Senkungen,
3. die Gebirgsbildung.

1. Die Erdbeben.

Als Erdbeben bezeichnet man alle natürlichen Erschütterungen der Erdoberfläche, deren Entstehungsort in der Tiefe der Erde liegt. Seebeben sind die natürlichen Erschütterungen der Meeresböden. Die Erdbeben gehören zu den furchtbarsten Naturerscheinungen. So sind bei dem Erdbeben von Messina gegen 200.000 Menschen zu Grunde gegangen. Die Stärke der Erdbeben ist recht verschieden und hängt von der Bodenbeschaffenheit und der Entfernung vom Erdbebenherde ab. Erdbeben sind teils stoßartige, von unten nach oben gerichtete Bewegungen, zum Teil sind es Schaukelbewegungen der Oberfläche. Manche Gegenden werden häufig von Erdbeben heimgesucht. Erdbeben stellen sich ein bei vulkanischen Ausbrüchen. Man nennt solche Bewegungen vulkanische Erdbeben.

Erschütterungen der Erdrinde beim Einstürzen von Hohlräumen in der Erde werden als Einsturzbeben bezeichnet. Die Hauptmasse der Beben sind die sogenannten tektonischen Beben, die ihre Ursache in Bewegungen der Erdrinde haben, in tektonischen Vorgängen, so in gebirgsbildenden Bewegungen.

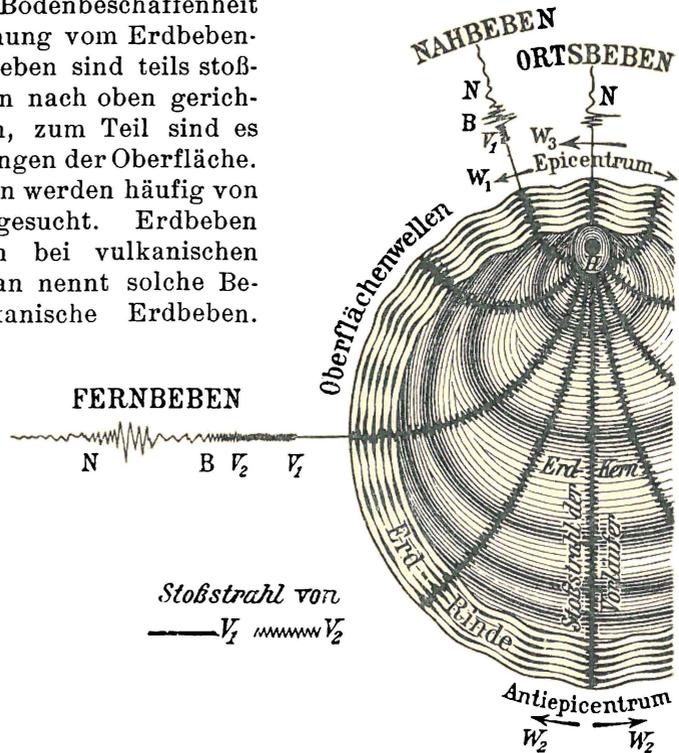


Fig. 39. Schematische Darstellung der Fortpflanzung der Erdbebenwellen und ihrer Aufzeichnung. Nach Sieberg. V_1 kurze Wellen der 1. Vorläufer, V_2 längere Wellen der 2. Vorläufer, B lange Welle des Hauptbebens, N Nachläufer, H Erregungspunkt oder Hypozentrum, W_1 , W_2 , W_3 sind die die Erde einkreisenden Oberflächenwellen.

Aus E. Kayser, Allgemeine Geologie I.

Die Erdbeben sind auf der Erdoberfläche so häufig, daß man sagen kann, die Erde befinde sich stets in einem Zustand fortwährenden Zuckens und Erzitterns. Freilich gelangen die wenigsten Beben zu unserer Kenntnis. Große Gebiete der Erde sind dünn bevölkert oder unbewohnt. Hier entziehen sie sich unserer Beobachtung. Besonders gilt dies von den kleineren Beben. Die größten

dagegen pflanzen sich sogar durch die Erde weithin fort und werden von den Erdbebenmessern aufgezeichnet.

Erdbebenmesser oder Seismographen sind Apparate, mit welchen der Eintritt, der Verlauf, die Intensität und die Entfernung eines Erdbebens aufgezeichnet wird. Die Aufzeichnungen der Seismometer heißen Seismogramme. Sie haben eine charakteristische Form, bestehen aus dem Vorläufer, den Wellen des Hauptbebens und dem Nachläufer.

Den Ausgangspunkt der Erschütterung bezeichnet man als Erdbebenherd oder Hypozentrum. Zuerst wird vom Erdbeben der senkrecht über dem Hypozentrum liegende Punkt, das Epizentrum, betroffen. Hier ist das Erdbeben gewöhnlich am stärksten, es ist der Mittelpunkt des Erdbeben- oder Schüttergebietes. (Fig. 39.)

Vom Hypozentrum pflanzt sich die Erschütterung nach allen Seiten in kugelförmigen Wellen fort, die zweierlei Schwingungsrichtung haben und daher als longitudinale und transversale Wellen bezeichnet werden. An der Oberfläche entstehen ebenfalls transversale Wellen. Die Wellen pflanzen sich ungleich schnell fort, die durch das Erdinnere durchgehenden Wellen schneller als die Oberflächenwellen, jene erscheinen daher im Seismogramme zuerst und bilden die Vorläufer. Die Tiefe des Erdbebenherdes, so wie die Entfernung eines Ortes vom Epizentrum läßt sich nach einfachen Formeln berechnen.

Die Wirkungen der Erdbeben äußern sich in der Bildung von Spalten, Klüften und Bodenrissen. Andererseits entstehen Störungen in Quellen, oder es finden größere Verbiegungen, Hebungen und Senkungen der Erdrinde statt. Eisenbahnschienen werden verbogen, so bei dem Erdbeben von Charleston 1887. Bei dem mitteljapanischen Erdbeben von 1891, bei dem 10.000 Menschen das Leben verloren, 100.000 Häuser einstürzten, wurde eine 112 *km* lange Erdbebenspalte aufgerissen. Dabei entstand eine auffällige Geländestufe, indem der nordöstliche Flügel 2·5–6 *m* absank und zugleich 1·6–2 *m* nach NW verschoben wurde. (Fig. 41.) Häufige Folgen von Erdbeben sind Bergrutsche und Bergstürze.

Seebeben sind zum Teil vulkanische, zum Teil tektonische Beben. Neben den Veränderungen des festen Bodens erleidet hierbei auch das Wasser oft große Störungen des Gleichgewichtszustandes. So entstand bei dem Lissaboner Beben 1755 trotz der Ebbe eine hohe Flutwelle, die 12 *m* hoch über den gewöhnlichen Stand sich erhob, sich darauf zurückzog, um von neuem mit verheerender Macht einzubrechen. Dabei entstanden Flutwellen von 20 *m* Höhe. Solche Erdbebenflutwellen können sich über weite Strecken hin fortpflanzen. Das Erdbeben von Arica 1868 erzeugte Wellen, welche sich von Japan bis Australien verfolgen ließen.

Erdbeben stehen im engsten Zusammenhang mit dem geologischen Baue. Es gibt erdbebenfreie und erdbebenreiche Gebiete. Die letzteren sind die Zonen der jungen Kettengebirge.

Als Nachklang der Gebirgsbildung, des Auftürens der Erdrindenteile, bleiben Spannungen zwischen den Schollen zurück, die

sich in periodischen Erschütterungen des Bodens kundtun. Diese pflanzen sich auf Bruchlinien fort.

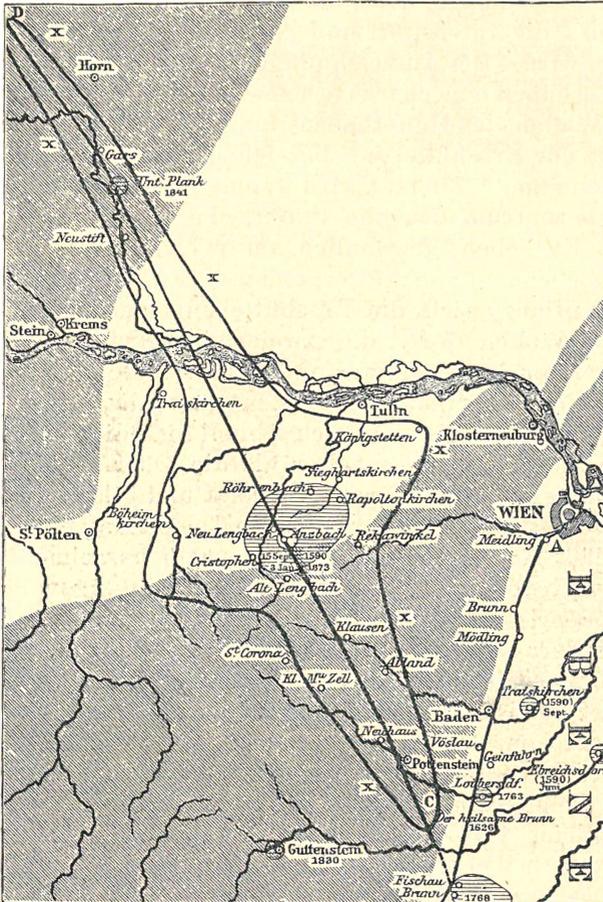


Fig. 40. Wiener Thermenlinie von Wien bis über Fischau hinaus. Kamplinie von C bis D. Die schraffierten Teile bedeuten die Alpen und die böhmische Masse. Die kreuzförmig verlaufende Kurve umfaßt das Hauptschüttergebiet vom 3. Jänner 1873. (Nach Neumayrs Erdgeschichte.)

In Österreich sind die Erdstöße an bekannte Linien geknüpft (Fig. 40). Diese Linien sind: die Mürzlinie, die über Bruck an der Mur, Kapfen-

berg, Kindberg, Krieglach nach Mürzschlag, von dort, die Mürz verlassend, über den Semmering nach Gloggnitz zu verfolgen ist; die

Thermenlinie, die längs dem Abbruch der Alpen gegen das Wiener Becken, von Fischau über Vöslau, Baden nach Wien zieht, und endlich die Kamplinie, die in nordwestlicher Richtung quer durch die Alpen über Neulengbach das Tullnerfeld durchschneidet, dem Kampthal folgt, und sich noch weit nördlich in der böhmischen Masse bemerkbar macht.

2. Die kontinentalen Niveauschwankungen.

Unter kontinentalen Niveauschwankungen versteht man die Niveauveränderungen zwischen Festland und Meer. Früher sprach man allgemein von kontinentalen Hebungen und Senkungen und ging dabei von der Vorstellung aus, daß der Meeresspiegel konstant sei und das Land sich hebe oder senke. Diese Vorstellung ist in der Allgemeinheit nicht zutreffend, denn es gibt auch Fälle, wo das feste Land unbeweglich bleibt und der Meeresspiegel schwankt. Die Bewegungen des Meeresspiegels werden eustatische Bewegungen genannt.

Sie werden in positive und negative unterschieden. Positive Bewegungen des Meeresspiegels verursachen ein Ansteigen des Wassers und damit ein Sinken oder Ertrinken des Festlandes. Negative Bewegungen sind die sinkenden Bewegungen des Meeresspiegels. Die Küste tritt aus dem Meere hervor, hebt sich scheinbar. Diese Erscheinungen großen Stils heißen Transgressionen beziehungsweise Regressionen der Ozeane. Im ersteren Falle entsteht eine Überflutung des Landes durch das Meer, im zweiten Falle wird ein großer Teil des Meeres landfest.

Hebungen an Küsten lassen sich leicht feststellen, wenn hochliegende Küstenterrassen vorhanden sind. Die Entstehung der Küsten-

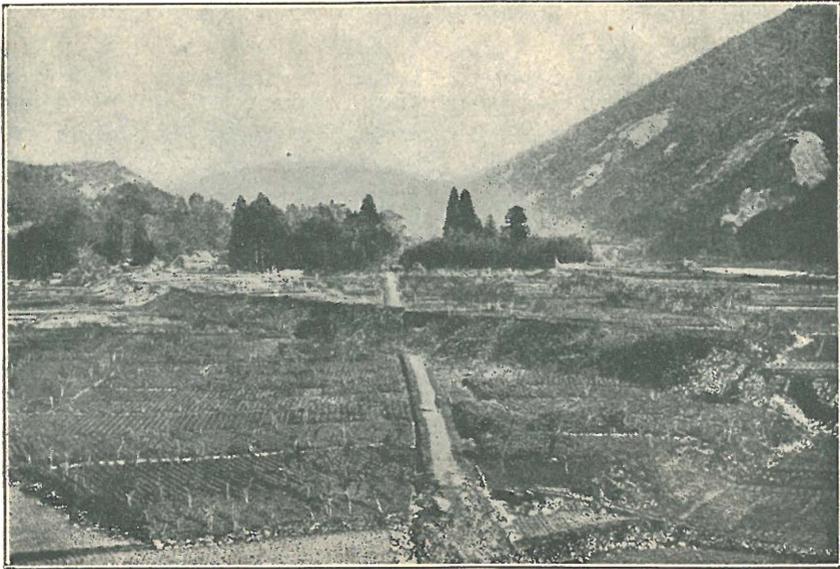


Fig. 41. Bruch von Midori im Tale von Néo, entstanden beim Erdbeben vom 28. Oktober 1891. (Japan.)

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

terrassen ist im Abschnitt IV geschildert worden. Durch die Brandung wird eine verschieden breite Strandfläche am Fuße der Steilküste erzeugt. Tritt nun das Meer zurück, oder, was dieselbe Wirkung erzeugt, hebt sich das Land, so wird die Strandterrasse landfest und in eine Hochterrasse umgewandelt. Hochterrassen und alte Strandlinien finden sich oft mehrere übereinander. Sie sind bekannt von Norwegen, Schottland, von Grönland.

Gehobene Korallenriffe sind aus dem Roten Meere bekannt, ferner aus dem malayischen Archipel. An der chilenischen Küste liegen Muschelbänke heute 400 m hoch über dem Meeresspiegel.

Versunkene Bauwerke, untermeerische Wälder, ertrunkene Täler zeigen Senkungen an. Ertrunkene Täler sind die schmalen Meeresarme an der dalmatinischen Küste.

Die Küsten von Schottland und Norwegen haben gehobene Strandlinien, während dagegen die Küsten Englands, Nordfrankreichs, der Niederlande und der Ostsee langsam versinken. Zahlreiche Spuren von Senkungen in Form von unter dem Seespiegel versenkten Wäldern sind aus diesen Gebieten bekannt. Die Bewegungen zeigen

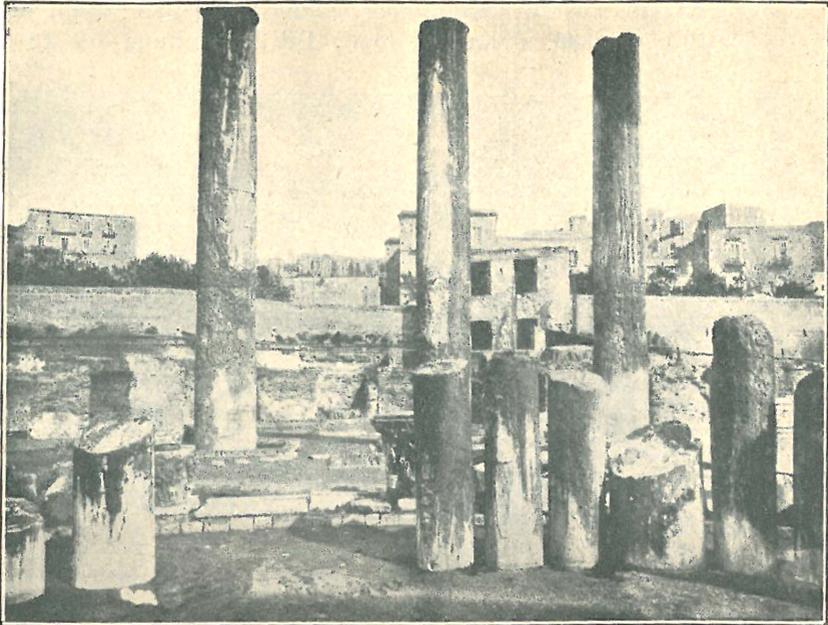


Fig. 42. Serapistempel von Puzzuoli.

Aus E. Haug, *Traité de géologie I.*

auch an, daß man es hier mit Hebungen und Senkungen des Festlandes zu tun hat, mit lokalen Erscheinungen. Ein Beispiel von kontinentalen Hebungen und Senkungen bietet das Serapeum bei Puzzuoli. (Fig. 42.) Es stehen am Strande drei Säulen von 12 m Höhe. Vom Boden bis in $3\frac{1}{2}$ m Höhe sind die Säulen glatt, darüber aber innerhalb einer 3 m hohen Zone voll von Löchern von marinen Bohrmuscheln. Der obere Teil der Säule ist wieder glatt. Der Tempel wurde nach dem Jahre 205 von vulkanischer Asche 3 m hoch verschüttet und darauf bis zur obersten Marke der Bohrlöcher in das Meer versenkt. Später wurde er wieder gehoben, und als im Jahre 1749 die Säulen entdeckt wurden, waren sie wieder ganz mit vulkanischer Asche zugedeckt.

Hier handelt es sich um lokale Schwankungen. Doch kann die Ausdehnung und Größe der Niveauschwankungen bedeutende Dimensionen erfahren. Hebungen und Senkungen im Betrage von 1000 *m* sind beobachtet worden. Hand in Hand mit diesen Erscheinungen geht die Bildung mächtiger Konglomerat- und Sandsteinmassen. Sinken ganze Kontinente unter den Meeresspiegel, so entstehen jene großen Transgressionen, die sich in der Erdgeschichte zu wiederholten Malen nachweisen lassen.

3. Gebirgsbildende Vorgänge.

Für das Antlitz der Erde sind die gebirgsbildenden Vorgänge von einschneidendster Bedeutung. Hebungen und Senkungen in der Erdrinde erzeugen die Niveauunterschiede, sie geben dem Wasser die Möglichkeit, seine reiche Tätigkeit zu entfalten. Ebenen und Gebirge, Tafelländer und Niederungen sind bestimmt in ihrer Anlage, ihrer Struktur und ihrer äußeren Erscheinungsform durch ihren inneren geologischen Bau. Die Bewegungen der Erdrinde sind tektonische Vorgänge. Ihrer Entstehung nach sind die radialen Bewegungen von den tangentialen zu scheiden. Die ersteren führen zu Brüchen, Verwerfungen, Gräben, Kesselbrüchen, die letzteren zu Falten und zu Überschiebungen.

Die radialen Bewegungen und Senkungserscheinungen werden hervorgerufen durch die Tendenz der Erdrinde, auseinanderzugehen, sich zu spalten. Die Zerrungszonen der Erde, in welchen die radialen Bewegungen eine große Rolle spielen, sind die alten Kontinentalsockel, so das Innere Afrikas, der Osten Nordamerikas. Diese alten Festländer haben seit langer Zeit keine Faltung erfahren, denn sie sind zu starr und widerstanden der Faltung. Daher liegen auf dem Grundgebirge sogar die ältesten Schichten flach und ungestört. Aber durch radiale Klüfte und Spalten zerbricht der Kontinent, Teile sinken am Rande in die Tiefe und werden zum Tiefseeboden des Ozeans. Oder es entstehen im Innern große Gräben, die weithin ziehen, z. B. der Rheingraben in Deutschland, oder der sogenannte ostafrikanische Grabenbruch. Der Rheingraben ist eine versunkene Scholle zwischen dem Schwarzwald und den Vogesen. Der ostafrikanische Graben ist ein System von Gräben, das sich vom Zambesi über den Victoria Njansa, den Rudolf-See, Stephanie-See nach Abessinien verfolgen läßt. Das Rote Meer ist die Fortsetzung dieses Grabens, der wieder weiter nordwärts zieht und das Tote Meer einschließt. Es ist eine eingesenkte Scholle, die viel tiefer liegt als die Oberfläche des Mittelländischen Meeres.

Aus den Faltungen und Überschiebungen gehen die Gebirge hervor, jene oft Tausende Meter erreichende Auftürmung der Schichten, die einst tief unter dem Meeresspiegel entstanden sind. Manche von diesen Gesteinen haben Niveauperänderungen von

7000—10.000 *m* durchgemacht und dabei Horizontalverschiebungen erfahren, die 100—200 *km* messen können. Es sind gigantische Bewegungen in der Erdkrinde vor sich gegangen. Und die Gebirge erzählen uns von diesen. Freilich große Teile der Erdkrinde sind seit langer Zeit nicht mehr von faltenden Bewegungen betroffen worden. Sie werden die alten Tafelländer genannt.

Europa und große Teile von Asien, auch Eurasien genannt, die Umgrenzung des Pazifischen Ozeans dagegen sind ausgezeichnet durch hohe junge Kettengebirge. Sie sind hervorgegangen aus Schichten, die sich im Meere gebildet haben, in der Art, daß aus dem Becken des Ozeans die Schichten durch gewaltige Faltungs- und Überschiebungsvorgänge herausgepreßt worden sind, vielleicht durch die selbständige Bewegung der Kontinente auf oder über den Boden des Ozeans hinweg. Solche große Massenbewegungen haben in der Erde zu gewissen Zeiten stattgefunden, während in anderen Ruhe herrschte. Ein Gebirge entsteht. Es ist ein lang andauernder Prozeß von Bewegungen, die sich z. T. auf dem Boden des Meeres, z. T. auf dem festen Lande abspielen. Aus dem Meere steigen Inselzüge hervor, sie türmen sich auf zu gewaltigen Ketten, gekrönt von flammenden Vulkanen. Ketten werden an Ketten gereiht. Das Meer weicht immer mehr zurück, der ehemalige Boden des Ozeans wird zu festem Land, das sich kühn in die Wolken hebt. Aber die abtragenden Kräfte erniedrigen langsam, ganz allmählich das Hochgebirge zum Mittelgebirge. Wenn es ganz abgetragen ist, führt der Fluß seine Wässer über eine Ebene. Aber es ist keine Ebene, kein Tafelland im geologischen Sinne, denn die Schichten in der Tiefe sind mannigfach gefaltet, gestört und überschoben. Wieder folgt eine Zeit der Ruhe. Meeresbedeckung bricht herein und die Ebene wird zum Meeresboden. So wiederholt sich der Vorgang im Kreislauf.

So sind in der Erdgeschichte zu verschiedenen Zeiten Gebirgssysteme entstanden, die wieder vom Boden verschwunden sind. Wir können mehrere Gebirgssysteme unterscheiden. Das jüngste Gebirgssystem der Erde sind die heutigen Kettengebirge.

Die jungen Hochgebirge umziehen in einem Bogen den Pazifischen Ozean, durchziehen Europa und den südlichen Teil Asiens. Ihre Fortsetzung ist über die Sundainseln bis Neuseeland zu verfolgen.

In Europa gehören dazu: Die jungen Kettengebirge der Pyrenäen, der Apennin, die Alpen, Karpaten, der Balkan, die Dinariden, in Asien das Taurusgebirge, der Kaukasus, der Himalaja.

Die Entstehung der Gebirge ist mit einem Zusammenpressen, einer Überschiebung der Schichten verbunden. Die Folge davon ist eine Verkürzung des Erdradius. Der Zusammenschub ist oft ganz bedeutend und wird an Stellen auf das 15fache der ursprünglichen Ausdehnung geschätzt.

Bei der Entstehung der Gebirge spielen Überschiebungen eine große Rolle. Es sind außerordentlich große Schubmassen, die sich über-

einanderschieben. Durch den Aufbau solcher Decken entsteht das Gebirge. Sie bilden ein Deckenland, das sich über das bodenständige Gebirge hinweg bewegt hat, als eine ortsfremde oder wurzellose Schubmasse. Die Förderungslänge solcher Decken ist oft eine große und kann 100—200 *km* betragen. Das Ursprungsland, aus dem die Decken hergekommen sind, heißt das Wurzelland. Die Decken erfahren oft auf ihrem Wege an den alten Massiven eine Stauung, werden hier aufgehalten in ihrer Bewegung und türmen sich infolgedessen noch mehr übereinander. So haben die Alpen an den alten Massiven des Schwarzwaldes, am böhmischen Massiv eine Stauung erfahren. Alpen und Karpaten zeigen in ihrem bogenförmigen Verlaufe um das böhmische Massiv deutlich ihre Abhängigkeit von ihm.

Die Gebirge zeigen auch eine ganz auffallende Bogenform. So bilden die Westalpen einen Bogen gegen das Ligurische Meer, die Karpaten umschlingen in einem weitgespannten Bogen das ungarische Tiefland.

Die Entstehung der Gebirge hängt zusammen mit der Abkühlung der Erde. Dadurch kommt es zu einer fortgesetzten Verminderung des Volumens. Das führt zu einer Schrumpfung der Oberfläche. Es entstehen Spannungen in der Erdhaut und diese lösen sich in horizontalen Bewegungen aus. Faltungen, Überschiebungen stehen damit in notwendigem Zusammenhang. So wird die Kontraktion der Erde als die Ursache der Gebirgsbildung angesehen.

Im Gefolge der großen Verschiebungen der Erdrinde gehen oft weitgehende Veränderungen der Gesteine vor sich. An der Oberfläche werden die Schichten durch die Falten zerbrochen und so entstehen die Reibungsbreccien. Wenn sich aber die Bewegung in größerer Tiefe abspielt, bei hohem Druck, bei hoher Temperatur und unter Mitwirkung heißer Wässer, tritt eine Umkristallisierung ein. Das Gefüge der Gesteine wird verändert. In diesen Zonen befinden sich die Gesteine im plastischen Zustande, sie werden weich und bewegen sich wie zähe Flüssigkeiten. Die kristallinen Schiefer verdanken dieser Art der Umwandlung ihre Entstehung.

B. Historische Geologie.

I. Allgemeine Vorbemerkungen.

Die historische Geologie ist die Entwicklungsgeschichte der Erde und ihres Lebens. Sie zerfällt in Abschnitte, die Formationen genannt werden. Die einzelnen Formationen sind von ungemein großer Dauer. Die geologische Zeitrechnung arbeitet mit anderen Zeitbegriffen als die menschliche Geschichte. Sie ist auch keine absolute, sondern nur eine relative und sagt uns bloß das Alter der Schichten zueinander. Ermöglicht wird diese Zeitrechnung durch die aufeinanderfolgenden sedimentären Schichten und die in denselben eingeschlossenen Faunen und Floren. Die Zeitrechnung ist eine zweifache, eine stratigraphische und eine paläontologische. Der oberste Grundsatz der stratigraphischen Altersbestimmung sagt, daß jede Schicht bei ungestörter Lagerung um so älter ist, je tiefer sie liegt, jede höhere Schicht ist jünger als die tiefere.

Zwei oder mehrere Schichten können zueinander sich in gleichförmigem oder konkordantem Verbande befinden oder in ungleichförmigem oder diskordantem. Im konkordanten Verbande folgt Schicht auf Schicht in gleicher Lagerung, ohne größere Unterbrechung setzt die tiefere Schicht in die obere fort. Bei der diskordanten Lagerung hat eine Unterbrechung der Schichtfolge stattgefunden. Die höhere Schicht hat eine andere Lage als die tiefere. Der Ablagerung der diskordant aufliegenden Schicht ist eine Dislokation der tieferen Schicht vorhergegangen. Eine besondere Art der diskordanten Auflagerung ist die Transgression. Die Transgression einer Schicht besteht darin, daß das Meer viel weiter sich ausbreitet und das Verbreitungsgebiet der neugebildeten transgressiv gelagerten jüngeren Schichten ein weitaus größeres ist, so daß sie noch auf weitaus ältere Schichten übergreifen.

Die paläontologische Altersbestimmung lehrt, daß die Faunen und Floren der Vorwelt sich im Laufe der unermesslich langen geologischen Zeiträume entwickelt haben, und daß sie der heutigen Lebewelt immer ähnlicher werden, je jünger sie sind. Die ältesten sind die primitivsten und weichen sehr stark ab von den heutigen. Aber die Reihenfolge der Faunen ist überall auf der Erde dieselbe.

Unter den Faunen und Floren ragen einzelne Formen als Zeitmesser hervor. Es sind die Leitfossilien, das sind Formen, die bei großer horizontaler Verbreitung über die Erde eine geringe vertikale Verbreitung haben. Leitfossilien sind besonders die Trilobiten, die Ammoniten, die Nummuliten u. a. Enthalten Schichten die gleiche Fauna, so gelten sie für gleich alt. Es können Schichten sein, die

weit voneinander abliegen und die aus verschiedenen Gesteinen bestehen. Dieselben Fossilien können in dem einen Falle in einem Kalke, im anderen Falle in einem Mergel liegen, und dennoch sind sie gleichaltrig.

Die historische Geologie zerfällt in Zeitalter, diese wieder in Formationen, die Formationen wieder in Epochen, diese in Etagen.

Die Entwicklungsgeschichte der Erde wird folgendermaßen gegliedert:

I. Ursprung der Erde und Sternenzeitalter.

II. Urzeit der Erde oder Archaikum.

III. Altertum der Erde oder Paläozoikum.

- | | | |
|-----------------------------------|---|------------------|
| 1. Kambrische Formation | } | Unter-Kambrium, |
| | | Mittel-Kambrium, |
| | | Ober-Kambrium. |
| 2. Silurformation | } | Unter-Silur, |
| | | Ober-Silur. |
| 3. Devonformation | } | Unter-Devon, |
| | | Mittel-Devon, |
| | | Ober-Devon. |
| 4. Karbonformation | } | Unter-Karbon, |
| | | Ober-Karbon. |
| 5. Permformation | } | Rotliegendes, |
| | | Zechstein. |

IV. Mittelalter der Erde oder Mesozoikum.

- | | | |
|------------------------------|---|---------------|
| 1. Triasformation | } | Unter-Trias, |
| | | Mittel-Trias, |
| | | Ober-Trias. |
| 2. Juraformation | } | Unter-Jura, |
| | | Mittel-Jura, |
| | | Ober-Jura. |
| 3. Kreideformation | } | Unter-Kreide, |
| | | Ober-Kreide. |

V. Neuzeit der Erde oder Känozoikum.

- | | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| 1. Tertiärformation | } | Eozän, |
| | | Oligozän, |
| | | Miozän, |
| | | Pliozän. |
| 2. Quartärformation | } | Diluvium, |
| | | Alluvium. |

II. Der Ursprung und das Sternenzeitalter der Erde.

Über den Ursprung der Erde vermag uns die Geologie selbst keinen Aufschluß zu geben. Wir müssen die Astronomie zu Rate ziehen, die uns in den Stand setzt, auf Grund ihrer Beobachtungen am Himmel Einblick zu geben in die Entstehung der Erde.

Nach der Kant-Laplaceschen Theorie ist die Entstehung der Erde zu denken als eine Ablösung einer Gasmasse von der Zentralmasse,

der Sonne. Wir finden heute noch solche Gasmassen im Kosmos, rotierende Nebelflecken, die sich allmählich verdichten. Sie werden planetarische Nebel genannt (Andromedanebel), haben vielfach spiralige Gestalt, und stehen in ungeheurer Entfernung vom Sonnensystem. Sie sind Ursonnen. (Fig. 43.)

Aus der Verdichtung entstehen die weißleuchtenden Sterne, glühende Gasmassen in Weißglut mit großen Temperaturen, dann die



Fig. 43. Der große Andromedanebel.

Aus Th. C. Chamberlin and R. P. Salisbury, *Geology*, 1907.

rotglühenden Sterne, die bereits einen festen Kern haben. Wenn die Abkühlung noch weiter fortschreitet, erstarrt auch die Oberfläche eines solchen rotglühenden Sternes, es bildet sich die Erstarrungskruste des Planeten, die erste feste Oberflächenhülle. Doch sie ist noch nicht so stark, daß sie der schmelzflüssigen Masse des Innern standhalten könnte. Daher wird sie von Zeit zu Zeit wieder durchbrochen, die rotglühenden Massen ergießen sich über die Oberfläche, der Stern leuchtet mit einem Male wieder auf. Diese Gruppe bilden die sogenannten veränderlichen Sterne. Schließt sich die Erstarrungsrinde fest um den Erdkern, treten die schmelzflüssigen Massen des Innern nie mehr zu Tage, dann erlischt das Eigenlicht des Sternes.

Er wird zu einem dunklen Weltkörper, der nur leuchten kann im Lichte einer anderen Sonne. Unsere Erde ist ein dunkler Planet, sie leuchtet nur von der Sonne beschienen. Der Mond ist nur zu sehen, wenn er von der Sonne beleuchtet wird, während er im Schatten der Erde geht, ist er für uns unsichtbar, so in der Zeit des Neumondes.

Hat sich auf einem Planeten eine feste Erstarrungskruste gebildet, so ist das Sternenzeitalter eines Planeten beendet. Es beginnt damit eine neue Phase, die unermesslich lange Zeit dauert, die man vielleicht als das leblose Zeitalter bezeichnen könnte. Eine heiße Atmosphäre umgibt den Planeten. Durch Kondensation infolge weiterer Abkühlung und Verdichtung der Atmosphäre entstehen die Urmeere und damit wird die Möglichkeit gegeben zum Kreislauf des Wassers und zur Entstehung des Lebens. Es beginnen in dieser Zeit Verhältnisse sich zu entwickeln, die durch allmähliche Entwicklung zu den heutigen Zuständen führen. Auf ähnliche Art haben wir uns die Entstehung und Entwicklung der Erde seit der Lostrennung von der Zentralmasse der Sonne zu denken.

Die Zeiträume, welche von dem Moment der Lostrennung der Erde bis zur Bildung der festen Erdkruste, bis zur Entstehung von Wasser und Land verflossen sind, sind unermesslich groß, tausende von Jahrmillionen mußten vergehen, ehe das Leben auf der Erde keimte.

III. Die klimatischen Veränderungen der Erde.

Durch die fortwährende Abgabe der Wärme der Erde von den Urzeiten bis auf den heutigen Tag wäre zu folgern, daß das Klima der Erde anfangs sehr heiß gewesen sei, dann immer mehr an Wärme eingebüßt habe, bis sich die jetzigen Zustände herausgebildet hätten. Demnach müßte im Paläozoikum ein wärmeres Klima geherrscht haben als im Mesozoikum, und da wieder ein wärmeres als im Känozoikum. Diese Vorstellungen aber sind nicht richtig. Es hat vom Archaikum bis zur Jetztzeit keine kontinuierliche Abkühlung stattgefunden.

Die klimatischen Verhältnisse, die wir heute auf der Erde finden, bestanden in dieser Ausbildung in uralter Zeit. Es hat damals Wüsten gegeben, im Cambrium bereits finden wir sichere Anzeichen einer Eiszeit. Der Zyklus von warmen und kälteren Perioden, den wir besonders im Quartär durch die Eiszeit feststellen können, ist offenbar uralte, nur ist die Dauer der kalten und warmen Periode immer recht verschieden gewesen. Wir sehen heute die Erde in einer ganz bestimmten Stellung zur Sonne. Aber die Bahn der Erde ist kleinen Schwankungen unterworfen. So kann das Klima eines Punktes schon durch diese kosmischen Ursachen geändert werden. Ebenso treten Veränderungen im Klima auf, wenn die Höhenlage eines Ortes sich ändert. Die kontinentalen Hebungen und Senkungen, die Veränderungen von Wasser und Land und noch viele

andere Faktoren sind mitbestimmend für das Klima eines Punktes. Da alle diese Verhältnisse im Laufe der Erdgeschichte sich gewandelt haben, so können naturgemäß die klimatischen Verhältnisse keine gleichbleibenden gewesen sein.

Die Jahreszeiten auf der Erde lassen sich bereits im Paläozoikum erkennen, da an Hölzern aus dieser Zeit Jahresringe beobachtet worden sind. Unzweifelhafte Beweise für Jahreszeiten finden wir in der Kreidezeit. Die kretazischen Koniferenhölzer von Spitzbergen zeigen Jahresringe in größter Deutlichkeit, auch beweist die Verteilung der Faunen in der Kreide, daß damals in Südeuropa wärmeres Klima geherrscht hat als in Nordeuropa.

Damit ist bereits angedeutet worden, wie es möglich ist, klimatische Verhältnisse der Vorzeit zu erkennen. Wir haben ja früher gesehen, daß in Wüsten ganz bestimmte Arten von Sedimenten bestehen, wir wissen, daß nivales Klima wieder ganz bestimmte Ablagerungen hervorruft. Gewisse Tiere und Pflanzen gedeihen nur im warmen Klima, andere bevorzugen wieder kaltes. So können wir tropische Floren und Faunen von gemäßigten oder von kalten oder nordischen Faunen trennen.

So leben die Korallen nur in tropischen Meeren. Wenn wir also Korallenriffe in fossilem Zustande in der Arktis treffen, dazu noch Muscheln und Schnecken von tropischem Charakter, so ist daraus geschlossen worden, daß ehemals in diesen Gegenden ein wärmeres Klima geherrscht hat.

Über das Klima der Urzeit oder Archaikum wissen wir wenig. In dem jüngeren Abschnitt desselben muß jedenfalls ein ähnlicher Zyklus möglich gewesen sein, wir finden genau dieselben Sedimente, die sich auch heute bilden, Sandsteine von bunten Farben, die auf heißes Klima in gewissen Zonen wenigstens schließen lassen.

Das Altertum oder Paläozoikum der Erde ist bereits klimatisch reicher differenziert. Es steht fest, daß im Kambrium in China eine Vereisung des damaligen festen Landes stattgefunden hat, denn wir finden moränenartige Ablagerung. Wärmeres Klima scheint im Karbon zu herrschen, und zwar auf der ganzen Erde. Wir finden in dieser Zeit dieselben Faunen und Floren unter dem Äquator und gegen die Polen.

Ganz anders ist das Klima am Ende des Paläozoikum. In den permischen Ablagerungen von Südafrika, Indien und Australien finden wir mächtige Blocklehme, gekritzte Geschiebe und höckerartig geschliffenen Untergrund. Diese Bildungen verdanken ihre Entstehung der permischen Eiszeit. Sie hat auf der Südhalbkugel eine weite Verbreitung besessen.

Im Mesozoikum kennen wir keine Eiszeiten. Doch entwickeln sich, wie schon erwähnt, im Jura klimatische Zonen auf der Erde, die in der Kreide in aller Deutlichkeit hervortreten.

In der kaenozoischen Periode oder in der Neuzeit finden wir mit Beginn des Tertiär eine stetige Wärmezunahme. So war während des Eozän das Klima Westeuropas ausgesprochen tropisch. Palmen und immergrüne Gewächse finden sich bis an die Ostsee.

Im hohen Norden Europas und Amerikas sind aus der Tertiärzeit fossile Floren bekannt geworden, Laub- und Nadelhölzer, so Ulmen, Ahorn, Buchen, Platanen, die heute viel tiefer erst vorkommen. Daraus geht hervor, daß in der älteren Tertiärzeit in den nördlichen Polargegenden weitaus wärmeres Klima geherrscht haben muß, als heutzutage.

Eine große Veränderung des Klimas hat endlich das Diluvium gebracht. Gegenüber dem Tertiär ist es eine Periode allgemeiner Abkühlung. Große Gebiete, die heute eisfrei sind, wurden von mächtigen Eisdecken überzogen, so die Alpen, das ganze nördliche Europa und Nordamerika. Von Skandinavien flossen große Inlandeismassen gegen Süden, ihr Saum berührte die Karpaten, die Sudeten, nordische Geschiebe finden sich in diesen Gebirgen. In den Alpen erstreckten sich mächtige Gletscherströme weit hinaus ins Vorland. Die Moränen dieser Gletscher liegen außerhalb der Alpen in der Schweiz, in Bayern.

IV. Meere und Kontinente der Vorzeit.

Die Verteilung von Wasser und Land der Jetztzeit ist das Endergebnis eines langen Entwicklungsprozesses. Sicher ist, daß große Veränderungen in der Massenverteilung der Erdrinde stattgefunden haben, daß Kontinente entstanden und dann wieder verschwunden sind.

Zweifellos war die Verteilung des Wassers und des Landes zu den verschiedenen Epochen der Erdgeschichte eine recht verschiedene. Das hängt damit zusammen, daß große Bewegungsvorgänge in der Erdrinde stattgefunden haben, welche an der Veränderung der geographischen Verhältnisse der Vorzeit jedenfalls großen Anteil haben.

Kontinente mit Tief- und Hochländern, mit Ebenen und Gebirgen hat es zu allen Zeiten gegeben. Sie waren verschieden groß. Es gibt Zeiten, wie die Oberkreide, in denen das Meer mit mächtigen Transgressionen weit über alle Festländer geht, wo die Herrschaft des Meeres auf der Erde fast eine universelle wird.

Fig. 44 gibt eine Vorstellung der Verteilung von Wasser und Land zur Jurazeit. Wir sehen, daß ganz andere Kontinente und Meere vorhanden sind als heute. Drei große Kontinentalschollen treten auf dieser Karte hervor. Kleinere Inseln liegen dazwischen.

Der nearktische Kontinent dehnt sich über Nordamerika und Grönland aus, im Süden liegt der Brasilianisch-Äthiopische Kontinent. Der Sino-Australische Kontinent umfaßt Teile von Asien und Australien.

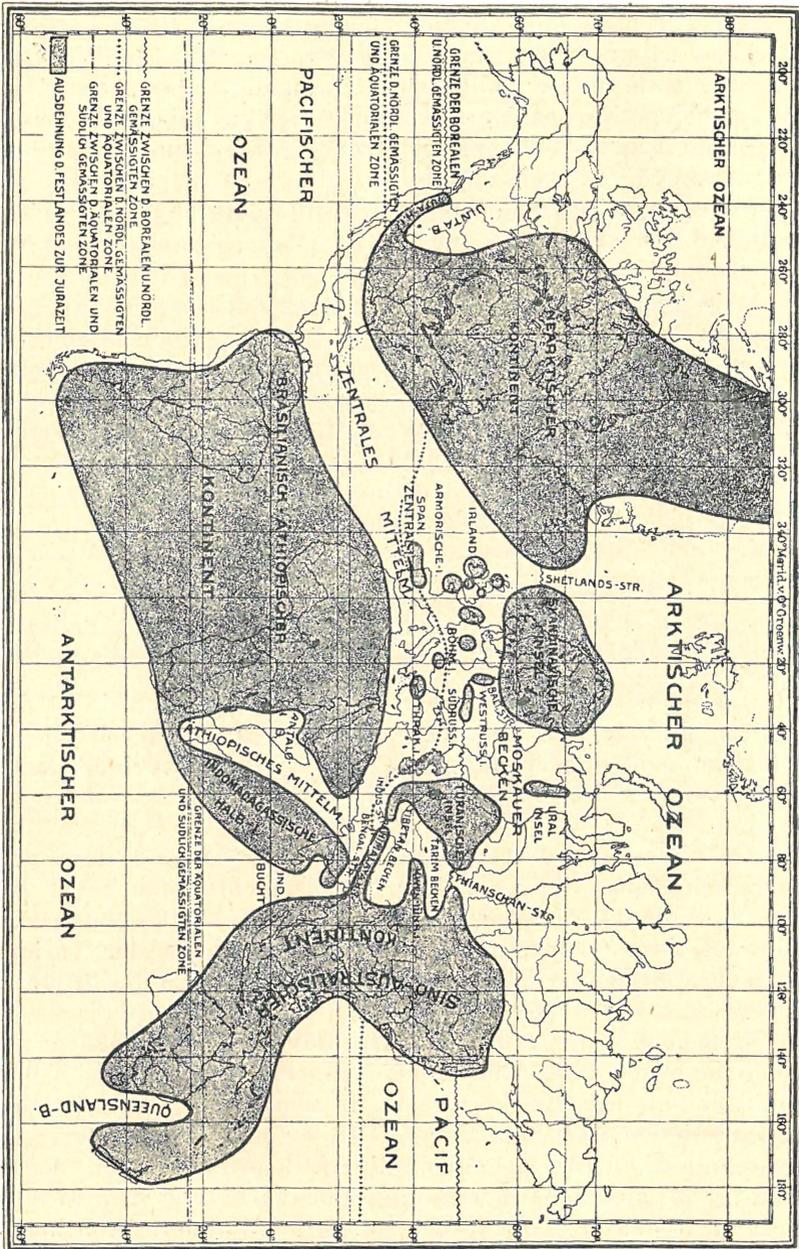


Fig. 44. Karte der Jurazeit nach Neumayr.
Aus B. Lindemann, Die Erde.

Ein großer Ozean, das zentrale Mittelmeer, auch Tethys geheißen, erstreckt sich quer zwischen den erstgenannten Kontinentalschollen von Amerika bis nach Asien. Als Ozeane erscheinen ferner der arktische, der antarktische und der pacifische Ozean.

V. Die Faunen und Floren der Vorwelt.

Von den Lebewesen der Vorzeit sind uns relativ geringe Reste bekannt; denn es werden hauptsächlich nur jene Organismen überliefert, welche Hartteile haben. Diese sind erhaltungsfähig. Schalen, Knochen erhalten sich leichter als die Weichteile von Tier und Pflanze.

Die wichtigsten Gruppen von fossilen Pflanzen und Tieren sind:

1. Pflanzen.

Algen.

1. Diatomeen, Kieselalgen, sehr kleine Algen mit Kieselpanzer. Im Süß- und Salzwasser.
2. Siphoneen (Schlauchalgen). Einzelne, oft stark verzweigte Algen von Röhrengestalt, sondern Kalk ab. Gesteinsbildend treten diese Algen, wie die Diploporen, auf in den mächtigen Kalkmassen der Trias der Alpen.
3. Corallineen, kalkabsondernde, vielverzweigte Algen der Flachsee. Hierher gehört Lithothamnium, gesteinsbildend im Miozän.

Pteridophyten (Farne, Schachtelhalme, Bärlappe).

1. Filices, Farne, häufig im Paläozoikum.
2. Calamiten, schachtelhalmartige Gewächse, im Karbon sehr häufig und von außerordentlicher Größe.
3. Lepidophyten, Bärlappgewächse, die ebenfalls im Karbon recht häufig sind und bedeutende Größe erreichen. Hierher gehören Lepidodendron (Schuppenbaum) und die Sigillarien oder die Siegelbäume.

Alle drei Gruppen sind von den heute lebenden Vertretern recht abweichend gebaut, sind ausgezeichnet vor allem durch ihre Größe. Sie sind die Steinkohlenbildner.

Gymnospermen (Nacktsamige).

1. Cycadeen, Sagopalmen, tropische Gewächse, häufig im Mesozoikum.
2. Koniferen, Nadelhölzer, seit dem Mesozoikum.

Angiospermen (Bedecktsamige).

1. Monocotyledonen, einkeimlappige, fossile Palmen.
2. Dicotyledonen, zweikeimlappige.

2. Tiere.

Protozoen (Urtiere).

1. Foraminiferen, einzellige Tiere mit kalkigem Gehäuse, das gekammert ist. Schale oft durchbohrt.
2. Radiolarien, mit einer Zentralkapsel und Kieselgerüst, das strahlig kugel- oder glockenförmig gebaut ist.

Schwämme, Spongien mit hornigem, kalkigem und kieseligem Gerüst.

Korallen, Anthozoen, mit zylindrischem Körper und Kalkgerüst.

Tabulaten, als Kalkbildner besonders bedeutungsvoll.

Graptolithen, Tierkolonien, ähnlich gebaut wie die Hydromedusen.

Echinodermen (Stachelhäuter).

1. Crinoideen, Seelilien mit Kalkskelett.
2. Asteroideen, Seesterne, Kalkskelett.
3. Echinoideen, Seeigel, Kalkskelett.

Bryozoen (Moostiere).

Wie Korallen in Kolonien lebend. Mit Kalkskelett.

Brachiopoden (Armfüßer).

Bilateral symmetrisch gebaut, meist mit Kalkschalen, die zweiklappigen Atmungsorgane im Innern aufruhend auf kalkigem Gerüst.

Lamellibranchiata (Muscheln oder Bivalven).

Gastropoden (Schnecken).

Cephalopoden (Kopffüßler).

1. Nautiloideen, vertreten durch Nautilen. Hieher gehören die Orthoceren und die Belemniten.
2. Ammonoideen, Kalkgehäuse mit kalkigem Verschuß »Aptychen«.

Würmer.

Arthropoden, Gliedertiere.

Fossile Formen.

1. Ostracoden, Muschelkrebse.
2. Trilobiten.
3. Decapoden.
4. Insekten.

Vertebraten.

1. Fische, seit dem Obersilur.
2. Stegocephalen, die ältesten vierfüßigen Wirbeltiere, zuerst im Karbon.
3. Amphibien, seit Oberjura.
4. Reptilien, seit dem Karbon.
5. Säugetiere, seit der Trias.
6. Vögel, seit dem Jura.

3. Die Erhaltung der Fossilien.

Die Überreste ehemaliger Faunen und Floren sind gering, weil eben nur jene Teile Aussicht haben, erhalten zu bleiben, die hart sind. Die paläontologische Überlieferung muß lückenhaft sein, denn die Fossilien erleiden selbst nach ihrer Einbettung in günstiges Gestein häufig noch Veränderungen, die sie bis zur Unkenntlichkeit entstellen können. Durch den Gebirgsdruck können sie zerstört werden. Die früheren Stadien des Lebens müssen daher wohl für immer

unbekannt sein. Ferner liegen große Teile fossilführender Schichten unter Meeresbedeckung und sind so für uns unzugänglich.

Es gibt Pflanzen, wie manche Algen, die eine kalkige Hülle haben. Solche Hartteile können erhalten bleiben. Fallen Blätter, Blüten zu Boden, so verwesensie, in gewissen Umständen aber, z. B. wenn sie in kalkreiches Wasser fallen, werden sie von einer Schicht Kalkkarbonat umhüllt und es entsteht ein getreuer Abdruck ihrer Formen. In der Regel aber können die reichen pflanzlichen Teile nur erhalten werden, wenn sie versteinert oder verkohlt werden.

Die Versteinierung der Pflanzen geht in der Weise vor sich, daß sie im frischen Zustand von einer Minerallösung imprägniert werden. Die kalk- oder kieselige Lösung durchtränkt den Pflanzkörper vollständig und erfüllt alle Zellen. Durch Festwerden der Lösung wird die Pflanze versteinert. Dabei kann die feine Struktur der Pflanze erhalten bleiben.

Die Verkohlung findet bei Luftabschluß statt. Eine Pflanze wird von Sand, Schlamm verdeckt. Die Zellstruktur geht langsam verloren. Wie früher ausgeführt worden ist, wird die Zellulose in Kohlenstoff übergeführt, verkohlt.

Die mineralischen Schalen und Skelettbildungen der Muscheln, Schnecken, endlich die Knochen der Tiere sind Hartteile, die leichter erhaltungsfähig sind. Auch sie werden versteinert ähnlich wie die Pflanzen, wobei die organischen Teile entweder verwesensie oder verkohlen.

Häufig werden auch die Schalen aufgelöst und es bleiben die Steinkerne übrig, d. h. die versteinerten Ausfüllungen der Hohlräume. Andererseits drückt sich der Umriß, die Struktur der Schale selbst ab, während die Schale später durch Auflösung vernichtet wird. Der Abdruck der Schale aber kann erhalten bleiben.

Die Fossilien finden sich einzeln, oft dagegen auch in großer Zahl an einem Fundort angehäuft. Wo Tiere in großer Zahl nebeneinander leben, wie die Austern, da finden sie sich auch fossil in vielen Exemplaren in den Schichten liegend. Strandtiere finden sich im allgemeinen dichter gedrängt in litoralen Gesteinen als Hochseefossilien. Die im Meere freischwimmenden oder treibenden Schalenträger sinken zu Boden, die Schalen häufen sich auf und werden in dem Schlamm am Meeresboden eingebettet. Auf dem festen Lande können Pflanzen und Tiere unter Sand, Schlamm, Dünen begraben und fossilisiert werden. Pflanzen und Tiere können von einer mächtigen Welle des Meeres weit hinein ins Land getragen werden. Auf dem trockenen Lande sterben die Meerestiere. Sie werden bei einer zweiten Welle von Sand überdeckt und fallen der Versteinierung anheim. Große Tiere können im Sand und Schlamm versinken, sterben ab und werden fossilisiert. Es kommt auch vor, daß Tiere von Panik ergriffen abstürzen, so zu vielen Hunderten oder Tausenden in Flußläufen zusammengeschwemmt werden und ins

Meer gelangen. An Pferde- und Rinderherden ist solches oft beobachtet worden. Tiere haben auch die Gewohnheit, z. B. Raubtiere, ihre Opfer auf bestimmten »Freßplätzen« zu verzehren. Dann entstehen große Anhäufungen von Knochen, die versteinert werden können. In Zeiten großer Dürre oder auch bei Wolkenbrüchen, Überschwemmungen kann ein Massensterben eintreten. Große Massen von Tierleichen werden an gewissen Punkten angehäuft. Bei vulkani-

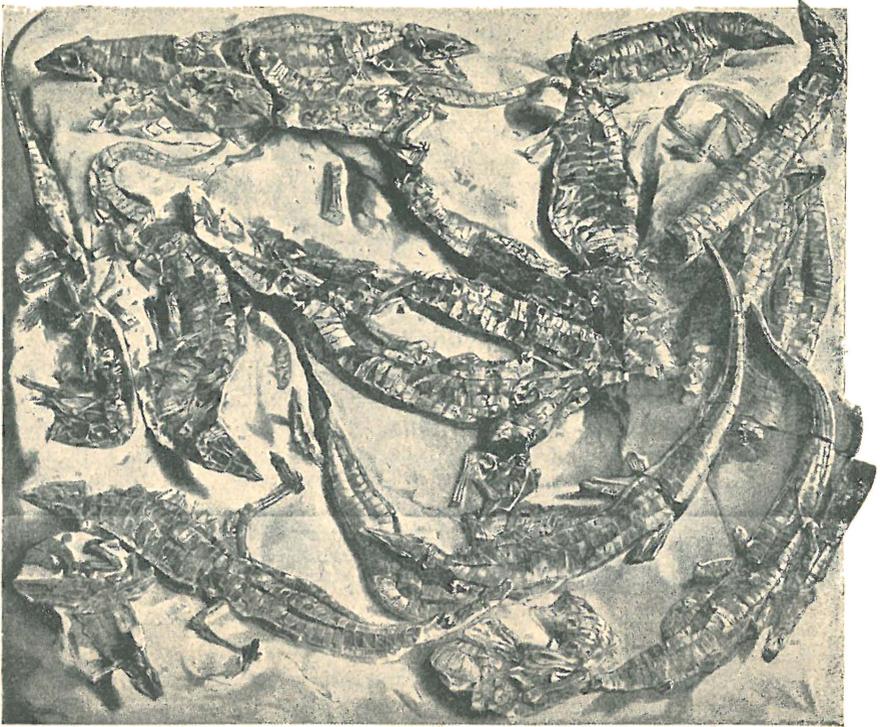


Fig. 45. Sandsteinplatte, fast 2 Quadratmeter groß, mit 24 Exemplaren von *Aetosaurus ferratus* aus dem oberen Keuper von Kaltental bei Stuttgart. Originalplatte im Kgl. Naturalienkabinett in Stuttgart. (Nach O. Fraas.) Länge der größten Exemplare 85 cm.

Aus O. Abel, Grundzüge der Paläobiologie, Stuttgart 1912.

schen Ausbrüchen gehen durch Aschenregen, Lavaströme, giftige Gase die Tiere oft plötzlich zu Grunde. Auch hier finden sich dann viele Tierleichen. Gewöhnlich verwesen sie oder werden infolge der Brandung durch die Verwitterung zerstört, dennoch finden wir an Fossilien Haut- und Fleischteile. Unter Abschluß von Wasser und Luft sind viele Insekten im Bernstein vortrefflich erhalten. Seltener ist der Fall der Mumifizierung der Leichen. Hautabdrücke finden sich öfter an Fossilien, sie sind vom Ichthyosaurus bekannt. Im Eis eingefroren findet sich das Mammut mit Haut und Haaren.

Von den Tieren des Festlandes sind uns auch Lebensspuren erhalten geblieben. In Sandsteinen sind Fährten eingegraben, dann finden sich Freßspuren, Nahrungsreste in der Leibeshöhle fossiler Wirbeltiere, Magensteine, Koprolithen, ferner Baue unterirdischer Tiere, Spuren von Kämpfen an den Knochen, Knochenkrankungen und endlich Zeichen von Todeskampf. (Fig. 45.)

Wir betrachten heute die vielen Faunen und Floren, die auf der Erde vorhanden waren, als Schöpfungen, die sich allmählich und langsam entwickelt haben, die jüngere Lebewelt aus der älteren. Die heutigen Lebewesen sind das Ergebnis stetig fortschreitender Entwicklung der früher existierenden Organismen. An ihrer Spitze steht der Mensch. Die Lehre von der fortschreitenden Entwicklung der Lebewelt heißt Deszendenzlehre.

Überblicken wir die Faunen und Floren der Vorwelt, so werden wir erkennen, daß sie der heutigen immer ähnlicher werden, je jünger sie sind. Je älter eine Fauna oder Flora ist, desto mehr weicht sie von der heutigen ab, desto altertümlicher ist sie. Dabei zeigt es sich aber, daß einzelne Formenkreise ungemein langlebig sind, von den ältesten Zeiten bis auf die Jetztzeit sich erhalten haben, während andere sich veränderten oder gar erloschen sind. Solche langlebige Formen sind z. B. die Linguliden, eine Brachiopodenart, die vom Kambrium bis auf den heutigen Tag fast unverändert vorkommt. In dem Entwicklungsgange der Schöpfung, wie wir sie verfolgen können, erscheinen merkwürdige biologische Vorgänge, die wir heute noch nicht deuten können. Es zeigt sich nämlich in der Entwicklungsgeschichte die Tatsache, daß gewisse Formenkreise, die reich entwickelt und über die ganze Erde verbreitet waren, mit einem Male verschwinden. Man glaubt, daß sie ausgestorben sind. So starben am Ende der Kreidezeit die Ammoniten aus, eine Molluskengattung, die gerade im Mesozoikum die Meere bevölkerte. Rätselhaft ist auch das oft explosive Auftreten und die reiche Entfaltung neuer Gruppen. Ein ungemein lehrreiches Beispiel dafür bieten die Nummuliten, die im Eozän plötzlich auftauchen, sich in Milliarden in den Gesteinen finden, um gleich darauf wieder zu verschwinden, d. h. sie fehlen in den Gesteinen der Folgezeit fast gänzlich. Das Aussterben der Arten ist noch wenig geklärt. Wir können uns denken, daß Tiere infolge einer fehlgeschlagenen Anpassung an das Leben zu Grunde gegangen sind, daß sie den Anforderungen, die das Leben an sie stellte, nicht gewachsen waren. Hohes Alter eines Tierkreises kann zur Degeneration, zum Untergange führen, es können gewaltsame Umwälzungen in der Außenwelt ein plötzliches Verschwinden von Klassen zur Folge haben.

4. Die Urzeit oder das Archaikum.

Die Urzeit der Erde umfaßt jene Vorzeiten, in denen nach Bildung von Wasser und Land die ersten Lebewesen entstanden

sind. Die Lebewelt steht jener Zeit noch recht weit ab von dem Leben, das heute unseren Planeten bevölkert. Wir ersehen sofort den Unterschied, wenn wir hören, daß Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien, Blütenpflanzen, Laub- und Nadelhölzer (?), also alle vierfüßigen Landwirbeltiere und die höhere Flora überhaupt noch nicht lebten. Es finden sich nur niedrig organisierte Formen. Im Meere, im Süßwasser herrschen algenartige Gewächse. Es ist daher diese Zeit als das Zeitalter der Algen bezeichnet worden. Von Tierresten sind aus dem Archaikum nur eine ganz spärliche Fauna bekannt geworden. Es waren aber viel mehr Lebewesen vorhanden, doch ihre Spuren sind infolge der vielen Vorgänge, welche diese alten Schichten betroffen hat, verloren gegangen. Aus dieser Zeit sind gefunden worden: Radiolarien, Schwämme, Würmer, Krebse, Armfüßer, Muscheln und Schnecken.

Damals hat es bereits Meere und Festländer gegeben. Freilich ihre Lage können wir nicht mehr ermitteln. In Nordamerika, in Finnland finden sich Ablagerungen aus jenen Perioden. Vielfach sind gerade die älteren infolge tektonischer Vorgänge verändert, zu Gneisen, Glimmerschiefern geworden. Die jüngeren Schichten haben zum Teil mehr ihren ursprünglichen Charakter bewahrt, es sind Sandsteine, Quarzite, Konglomerate, häufig von Eruptivgesteinen innig durchdrungen. Unendlich lange Zeiträume müssen zur Entstehung dieser Schichten, zur Entwicklung des Lebens selbst bis auf jene Höhe vergangen sein, in Anbetracht des Umstandes, daß damals auch keine anderen Kräfte gewirkt haben, als heutzutage.

5. Das Paläozoikum oder das Altertum der Erde. (Fig. 46—60.)

Ungleich mannigfaltiger ist die Lebewelt im Paläozoikum. Es fehlen zwar noch immer Säugetiere, Vögel, in der ersten Hälfte auch noch die Reptilien, ferner Angiospermen und Gymnospermen, trotzdem müssen wir uns die Erde in dieser Zeit mit reichem Leben bevölkert denken, aber eigenartig und altertümlich in der Organisation.

Kambrium, Silur, Devon, Karbon und Perm nennen wir die einzelnen Formationen innerhalb des Paläozoikum. Jede dieser Formationen wird wieder gegliedert. Die Möglichkeit der Gliederung der geologischen Zeitrechnung geben, wie erwähnt, die aufeinanderfolgenden Floren und Faunen und ihre Leitfossilien. Die Trennung des Paläozoikum in einzelne Formationen ist eine willkürliche, beruht auf der relativen Verschiedenheit des Entwicklungsganges dieser Abschnitte. In der Natur gibt es solche Trennungslinien nicht.

Die klimatischen, die geographischen Verhältnisse waren damals ganz andere. Es gab große Kontinente, weltumspannende Meere, aber diese selbst haben im Laufe des Paläozoikum große Verände-



Fig. 46. Waldmoor der Steinkohlzeit.

(Nach dem von Prof. Potonié in Berlin für das Deutsche Museum in München entworfenen Gemälde.) Die hohen Bäume links sind Sigillarien, darunter Farnsträucher. Rechts ein Schuppenbaum (Lepidodendron), dahinter Schachtelhalme.
Aus Dr. B. Lindemann, Die Erde.

rungen erfahren, die Umrise der Ozeane, der Kontinente verschoben sich stetig.

Wollen wir uns die Lebewelt dieser Zeiten vor Augen halten, so müssen wir vor allem die Bewohner der See von denen des festen Landes trennen.

Ein großer Kontinent lag im Süden. Ein großer Teil Südamerikas, Afrikas gehörte ihm an. Auch Madagaskar und Australien

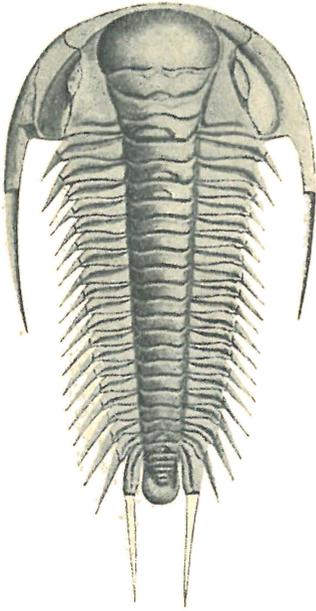


Fig. 47. *Paradoxides bohemicus*, ein Trilobit aus dem Mittelkambrium.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.

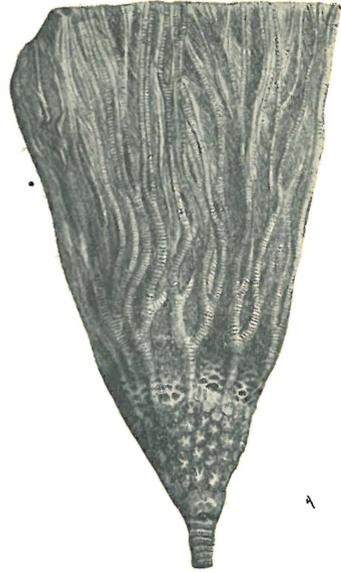


Fig. 48. *Scyphocrinus elegans*, Seelilie aus dem Silur.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.



Fig. 49. *Omphyma subturbinatum*, eine Koralle aus dem Silur.

Aus Gürich, Die Leitfossilien.



Fig. 50. *Trochoceras optatum*, ein Nautilid (Schiffsboot) aus dem Silur.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.



Fig. 51. *Monograptus priodon*, ein Graptolith (Chitinkörper, seitlich mit Zellen besetzt) aus dem Silur.

Aus Gürich, Die Leitfossilien.

bildeten einen Teil eines großen Südkontinents, der erst im Mesozoikum zerfiel.

Dieser gewaltige Kontinent bestand lange Zeit hindurch. Auf ihm spielten sich alle Vorgänge ab, die wie heute den festen Boden



Fig. 52. *Orthoceras annulatum*, ein Nautilid aus dem Silur.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.

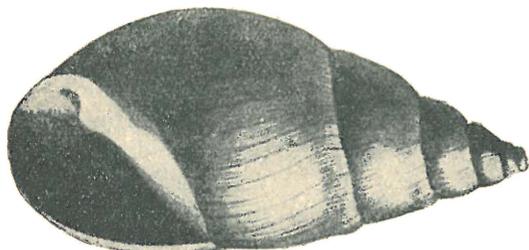


Fig. 54. *Macrochelina arcuata*, eine Schnecke aus dem Devon.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.

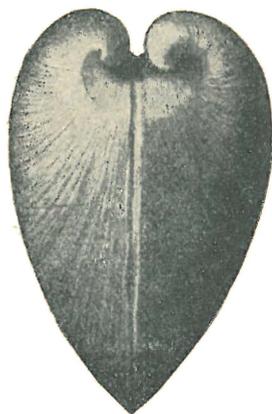


Fig. 53. *Megalodon cucullatus*, eine Muschel aus dem Devon.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.

verändern und gestalten. Es gab hier Länder mit für den Pflanzenwuchs überaus günstigem Klima. Dichte Wälder, Schilfdickichte bedeckten auf weite Strecken hin das Land. Farne, Schachtelhalm- und bärlappige Gewächse, in der zweiten Hälfte dieses Zeitalters auch Koniferen und Cycadeen bewaldeten dicht den Boden. Aus solchen Wäldern der Steinkohlenzeit oder des Karbon sind auch die großen Kohlenlager hervorgegangen. Die Schuppenbäume oder Lepidodendren, die Siegelbäume oder Sigillarien, die Kalamiten (schachtelhalmartig), Farne in großer Zahl finden sich auf der ganzen Erde, auch auf den

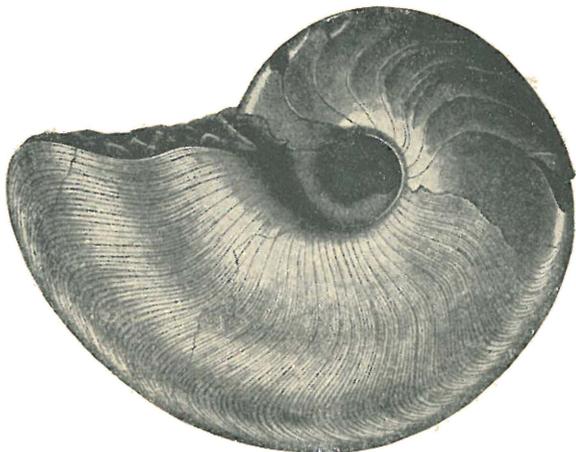


Fig. 55. *Aphyllites*, ein Ammonit aus dem Devon.

Aus G. Gürich, Die Leitfossilien.

Nordkontinenten, so in Nordamerika, in Nordasien. Dem Paläozoikum wird durch das Überwiegen der Pteridophyten ein ganz spezifischer und altertümlicher Charakter aufgedrückt.

Der große Nordkontinent umfaßte noch einen Teil Englands. An der Küste dieses Kontinents entstanden in England mächtige Konglomerate und Sandsteine. In Deutschland herrschte im Perm



Fig. 56. *Productus cora* (nat. Gr.) aus dem Karbon von Bolivia. (Ein Armfüßer.)
Aus E. Haug, *Traité de géologie II.*

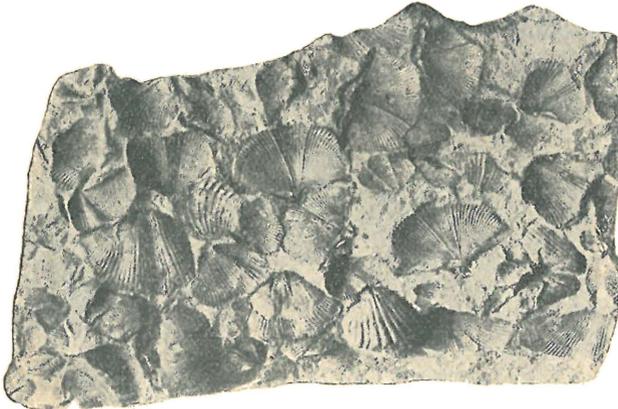


Fig. 57. Oberdevon. Sandstein mit dem Leitfossil *Spirifer Verneuili* ($\frac{2}{3}$ nat. Gr.) Nordamerika. (Armfüßer.)
Aus E. Haug, *Traité de géologie II.*

Wüstenklima und es kam in den Trocken- gebieten zur Entstehung der großen Salz- lager, die heute zu Staßfurt abgebaut werden. In dieser Zeit herrschte in Afrika, Indien und Australien eine weitgehende Vereisung des Kontinents, bereits die zweite, denn schon im Kam- brium treffen wir in China die Spuren einer Eiszeit.

An den Küsten lebten lungenatmen- de Fische und im Devon Englands finden sich in großer Zahl die eigenartigen Panzerfische, die gerade in dieser Zeit ihre höchste Blüte erreichen. Es sind Fische, deren vorderer Teil bepanzert ist, der rückwärtige dagegen ist mit Schuppen bedeckt. Manche Panzerfische werden auch als Formen der Tiefsee gedeutet, da bei ihnen die Augen ganz besonders groß

entwickelt sind, mächtige Leuchtorgane bildend in der Finsternis der Tiefsee. Es finden sich in dieser Zeit auch Riesenkrebse, Gigantostraken genannt, Würmer, Insekten, Spinnen und im Karbon die ersten Land- wirbeltiere. Stegocephalen und Reptilien. Die Stegocephalen, die

scheinbar ihre Heimat in Südafrika haben, sind den Amphibien, zum Teil den Reptilien nahestehende, molch- oder schlangenartige Formen.

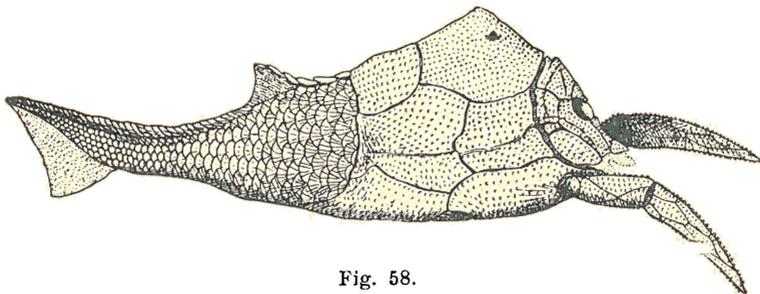


Fig. 58.

Pterichthys Milleri Ag. Ein Panzerfisch aus dem Old Red Sandstone, des Mitteldevon in Schottland. Nach R. H. Traquair, O. Jaekel und O. Abel.
Aus O. Abel, Paläobiologie.

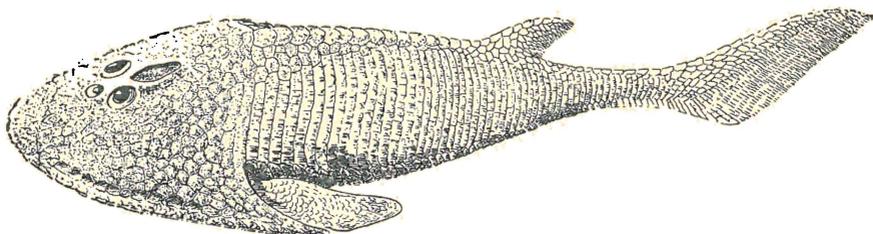


Fig. 59. Rekonstruktion von *Cephalaspis*, eines Fisches aus dem Unterdevon von England ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.).

Aus O. Jaekel, Wirbeltiere.

Manche sind eigenartige Typen mit noch recht primitiven Merkmalen. Neben kleinen Formen existieren aber auch Riesenformen.

Reptilien treten in der Permzeit hoch entwickelt auf, verschwinden aber wieder, um erst im Mesozoikum fast weltbeherrschend aufzutreten. Das Paläozoikum könnte das Zeitalter der Pteridophyten genannt werden.

Das Leben des Meeres ist ungemain reich. Unter den Protozoen treten die Radiolarien hervor. Sie führen zur Bildung von Kiesel-schiefern. Korallen treten kalkbil-dend auf. Devonkorallenkalke finden sich in den Alpen in Kärnten. Die Korallen des Paläozoikum unterscheiden sich von den heutigen

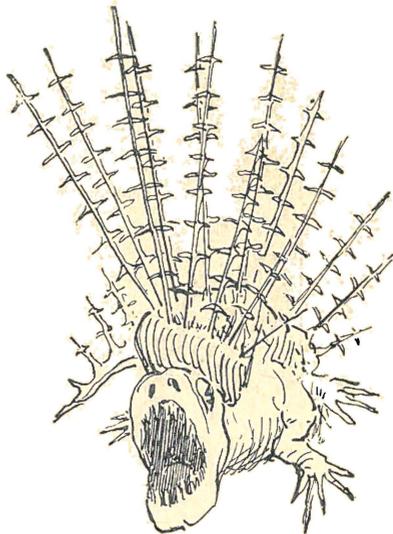


Fig. 60. *Naosaurus Credneri* Jkl., Ein Reptil aus dem Rotliegenden Deutschlands. Nach Jaekel.

Aus O. Jaekel, Wirbeltiere.



1 4 3 3

Fig. 61. Schwäbische Landschaft zur Keuperzeit. Krokodilier: 1 Belodon, 2 Mystriosuchus, 3 Aetosaurus, 4 Zanclodon, Saurier, 5 Psammochelys, Schildkröte, 6 Equisetum, Schachtelhalm; Farnkräuter: 7 Chiropteris, 8 Danaeoptis, 9 Pterophyllum, Cycaspalme, 10 Araucaria, Nadelholz
 Aus B. Lindemann, Die Erde.

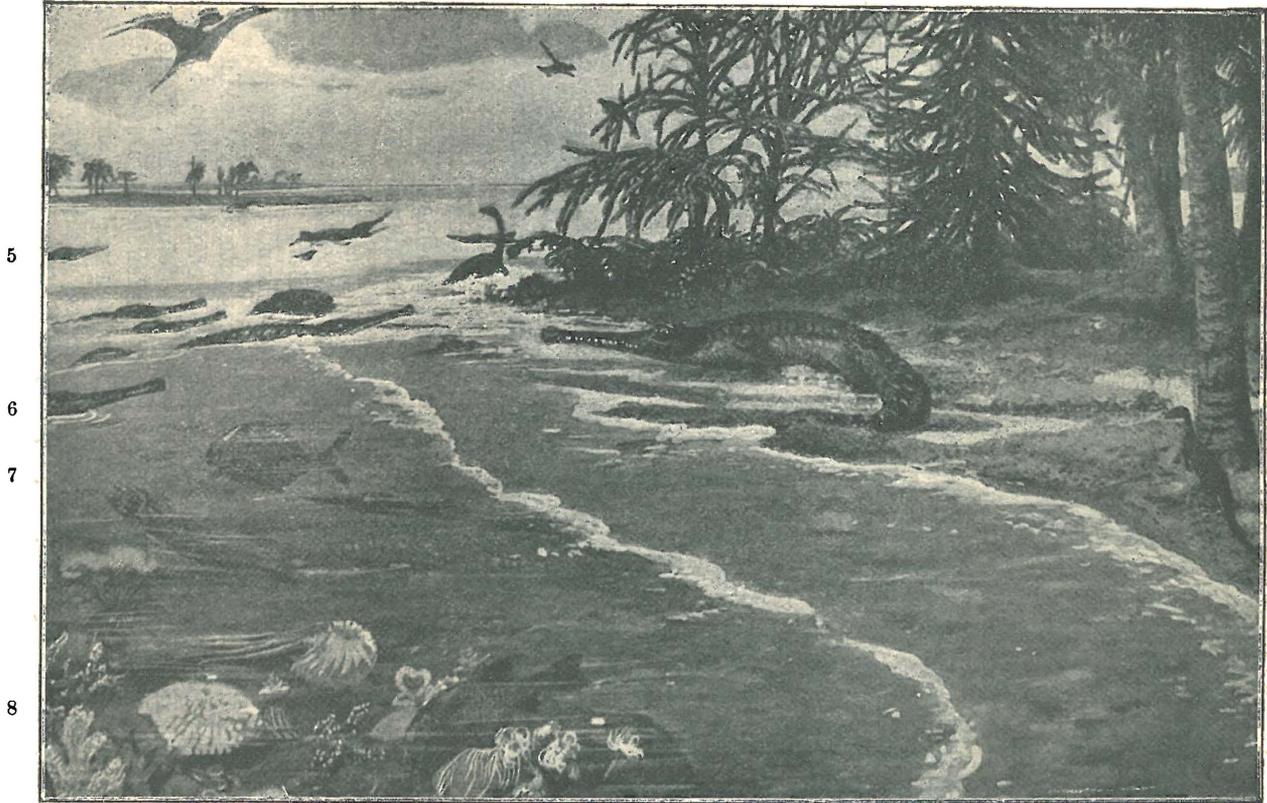


Fig. 62. Süddeutsche Landschaft zur Jurazeit. (Nach einem Aquarell von W. Plank.) 1 Archaeopteryx (Urvogel), 2 Plesiosaurus, 3 Ichtyosaurus, 4 Rhamphorhynchus, ein Flugsaurier, 5 Tellosaurier (Krokodile), 6 Gyrodus, ein Schmelzschupper, 7 ein Belemnit, 8 Kolonie von Korallen, Schwämmen und Seelilien, 9 ein Ammonit, 10 Lepidotus, ein Schmelzschupper, 11 Compsognatus, ein kleiner Dinosaurier.

Aus B. Lindemann Die Erde.

dadurch, daß sie abweichende Organisation aufweisen, so die Bodenkorallen oder Tabulaten, die Tetrakorallen oder die Vierstrahler, die meist Einzelkorallen bildeten.

Reich entfaltet sind die Seelilien, die Crinoideen. Eine eigentümliche weltbeherrschende Tiergruppe sind die Trilobiten, Meereskrebse von asselartigem Habitus, an der Küste im Schlamm, doch auch im tieferen Meere lebend. Reich sind auch die Armfüßer oder Brachiopoden entwickelt, von denen einige, wie *Productus*, eine bedeutende Größe erreichten. Überaus häufig finden sich die Nautiloidea, dem heutigen *Nautilus* nahestehende Cephalopoden, aus dem Silurmeere sind allein 1500 Arten bekannt. Muscheln und Schnecken sind ebenfalls ungewöhnlich häufig. So kennt man etwa 26.000 Schneckenarten aus dem Silur.

Die Fische sind Panzerfische, Lungenfische u. a. Knochenfische fehlen noch. Im Devon finden sich die Panzerfische sehr häufig. Die Schmelzschuppe oder Ganoidfische sind im Perm besonders häufig.

6. Das Mesozoikum oder Mittelalter. (Fig. 61—71.)

Im Mesozoikum treten die alten Festlandsbildungen im Gegensatz zu den marinen Ablagerungen recht klar hervor. Wir unterscheiden eine marine oder ozeanische Ausbildung der Trias und eine kontinentale oder Festlandtrias. Die erste finden wir in den Alpen, die letztere in Deutschland weit verbreitet.

Kontinente und Meere sind im Mesozoikum richtiger abzugrenzen als in der vorhergegangenen Periode. Es bestand wie früher ein großes Mittelmeer, die Tethys, welche wieder Nord- und Südkontinente trennte. So waren im Norden zwei große Kontinente vorhanden: Der nordatlantische umfaßte Nordamerika und Grönland, der asiatische große Teile Asiens.

Afrika bildete im jüngeren Mesozoikum einen selbständigen Kontinent, getrennt von Brasilien und Australien. Diese Festlandsmassen sind die Entwicklungszentren für die Landtiere.

Die ozeanische Entwicklung der Trias unterscheidet sich von der kontinentalen, daß in der ersteren die Sedimente des Meeres und dessen Faunen sich finden, also Kalke, feine Tone, Schiefer, in der letzteren aber Ablagerungen des fließenden Wassers, dann auch Bildungen verschiedener Klimate. Der Buntsandstein in Deutschland oder der Keuper sind Festlandsbildungen, die mit Wüstenklima in Verbindung gebracht worden sind.

Im Paläozoikum sind Gebirge entstanden. Diese Gebirge sind abgetragen worden und daraufhin herrschte lange Zeit Ruhe im Mesozoikum. Erst gegen Ende setzten wieder die Krustenbewegungen ein, die tertiäre Kettengebirgsbildung wird eingeleitet. Hand in Hand

damit geht eine reiche vulkanische Tätigkeit. Das Leben des festen Landes und des Meeres wird durch die gewaltigen Vorgänge gegen Ende der Kreide stark beeinflusst und es vollziehen sich die größten Wandlungen in dieser Zeit in der Lebewelt.

Das Mesozoikum wird gegliedert in Trias, Jura und Kreide. Wir wollen als Beispiel der marinen Trias die Gliederung der Ostalpentrias anführen, die sich zum großen Teil aus Kalk- und Dolomitmassen aufbaut. Es sind dies Absätze aus einem Kalkschlamm, wie etwa heute der Globigerinenschlamm, zum Teil sind es alte Korallenriffe.

Wir können die Trias gliedern in die Stufen: untere, mittlere und obere Trias. Der unteren Trias gehören in den Alpen an: Die Werfenerschiefer, küstennahe Bildungen von Schiefen und Sandsteinen mit roter Farbe, oft Salz und Gips einschließend. Darüber folgen in der mittleren Trias die Guttensteinerkalke, dann die Reiflinger Kalke. In der oberen Trias folgen: Die Lunzersandsteine, die kleine Kohlenlager einschließen, der Hauptdolomit, Dachsteinkalk und endlich das Rhät.

In der germanischen Trias ist zu unterst der auf Wüstenklima hindeutende Buntsandstein eine Festlandbildung. Darüber folgt der Muschelkalk. Die obere Trias — der Keuper — ist in Deutschland z. g. T. eine Festlandbildung, bestehend aus roten oder buntgefärbten Sandsteinen und Schiefen, mit Gips und Wirbeltierfährten und -resten. Erst im Rhät beginnt das Meer das Festland zu überschwemmen und es folgt wieder eine lang andauernde Meeresbedeckung.

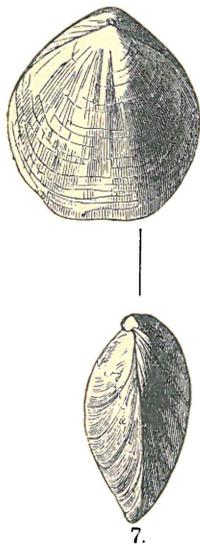


Fig. 63. *Terebratula numismalis* Lam. ein Brachiopode aus dem mittl. Lias (nat. Gr.).

Aus E. Kayser, Formationskunde, 1911.

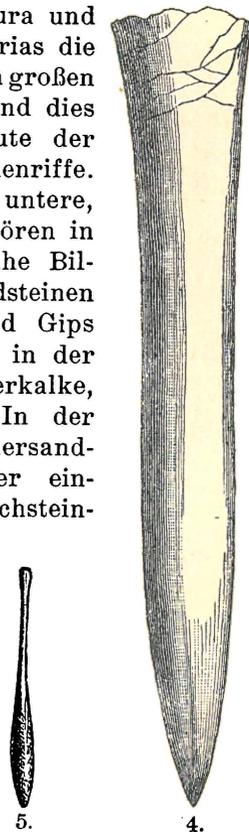


Fig. 64. 4. *Belemnites paxillosus* Schl. aus dem mittl. Lias. 5. *Belemnites clavatus* Blainv., aus dem mittl. Lias (nat. Gr.). Rostrum vergleichbar der Rückenschulpe des Tintenfisches. Aus E. Kayser, Formationskunde, 1911.

Das mesozoische Zeitalter ist vor allem charakterisiert durch das Aussterben der alten Typen, so der Lepidodendren, der Sigillarien, der Kalamiten, der Panzerfische, Trilobiten, Orthoceren und das Auftreten von modernen Formen. Es treten die ersten Säugetiere auf, die ersten Vögel, die ersten Knochenfische und ersten Laubhölzer. Es ist ausgezeichnet durch das Überwiegen der Ammoniten, der Belemniten, der Hexakorallen (Steinkorallen) und der Reptilien. Es

treten die Brachiopoden gegenüber den Muscheln zurück, die Seelilien gegenüber den Seeigeln. Das Mesozoikum kann das Zeitalter der Ammoniten, der Reptilien und der Gymnospermen genannt werden. Wie am Ende des Paläozoikum, so erlöschen auch am Ende des



Fig. 65. Hallstätter Kalk mit Halobien (Muscheln), Hallstatt.
Aus E. Haug, *Traité de géologie II.*

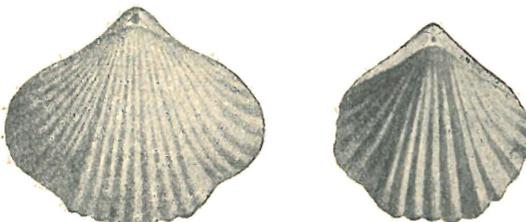


Fig. 66. *Rhynchonella*, ein Brachiopode (nat. Gr.).
Aus E. Kayser, *Formationskunde.*

Mesozoikum weitverbreitete Tierklassen, wie die Ammoniten, die Belemniten oder die größeren Reptilien, ausgenommen die Eidechsen, Schlangen, Schildkröten und Krokodile. Es erfolgt das »große Sterben«. Neue Formen treten auf den Schauplatz.

Auf dem Lande wachsen Farne, Cycadeen und Koniferen. In der Kreide beginnen erst die Blütenpflanzen, so Lorbeerbäume, Palmen, Ahorn, Pappeln, Birken, Weiden, Tulpen u. a. Die Fauna des Festlandes weist eine große Veränderung auf gegenüber dem Paläozoikum. Die Stegocephalen sterben in der oberen Trias aus. Es finden sich Amphibien, z. B. Frösche. Auf festem Boden gewinnen die Reptilien weite Verbreitung. Sie spielen dieselbe Rolle, wie heute die Säugetiere. Es sind Pflanzenfresser, zum Teil Raubtiere. Es finden sich Eidechsen, Schlangen, Schildkröten und Krokodile, aber auch Klassen, die ausgestorben sind, so die Dinosaurier, die oft

ganz gewaltige Größen erreichen. Es gibt Formen, die auf 30 m Länge geschätzt werden. Iguanodon ist eine Art der Dinosaurier, ausgezeichnet durch aufrechten Gang und einen Stachel am Daumen. Die Reptilien passen sich auch der Bewegung in der Luft an. Es entstehen Flugsaurier, die bis 6 m Spannweite erreichen, so Pteranodon. Es kommen ferner vor: Schmetterlinge, Käfer und Zweiflüger.

Ungemein interessant sind die Vögel. Archaeopteryx oder der Urvogel hat noch nicht den reinen Vogelcharakter. Seine Kiefer sind wie bei den Reptilien bezähnt. Sein Flug ist noch unbeholfen. Er hat die Größe eines Raben. Die Vögel entwickelten sich ungemein rasch. Hesperornis ist ein Vogel mit geringem Flugvermögen. Es war wahrscheinlich ein Taucher, ähnlich dem Pinguin.



Fig. 67. Eisenschüssige Oolithe mit *Reineckia anceps*, *Perisphinctes subbakeriae* (Ammoniten), $\frac{1}{4}$ nat. Gr.
Aus E. Haug, *Traité de géologie*.

Gegenüber den oft riesigen Reptilien sind die auftretenden Säuger noch kleine, beuteltierartige Formen und Insektenfresser.

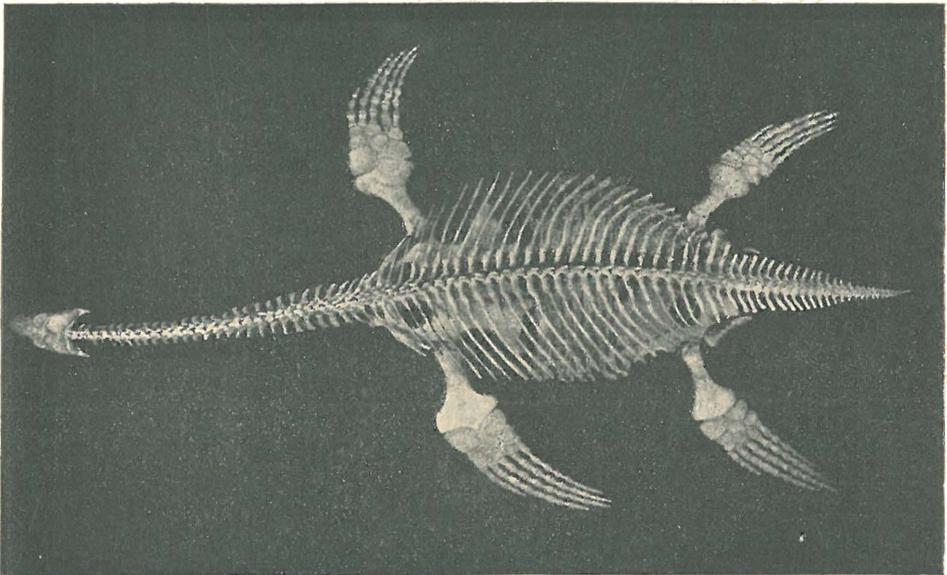


Fig. 68. Skelett eines Plesiosauriers aus dem oberen Jura Englands: *Cryptocleidus oxoniensis* Phil.

(Nach einer Photographie des Skelettes im American Museum of Natural History in New-York. Montiert unter der Leitung von H. F. Osborn), Körperlänge 3.35 m. Aus O. Abel, *Paläobiologie*.

Betrachten wir nun die Faunen des Meeres. Radiolarien finden sich häufig in Tiefseegesteinen. Stockbildende Korallen, der neuen Gruppe der Hexakorallen oder der Sechsstrahler angehörig, bauen im Vereine mit Kalkalgen Kalk- und Dolomitriffe, Crinoiden und Seeigeln, Brachiopoden, Muscheln und Schnecken, ganz besonders aber die Ammoniten beherrschen die Ozeane. Zu Tausenden finden

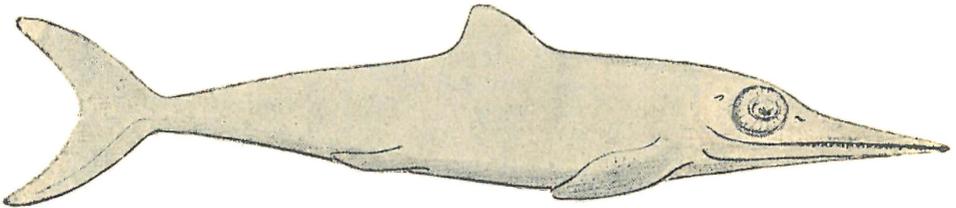


Fig. 69. Rekonstruktion der äußeren Form von Ichthyosaurus (Reptil). Nach Jaekel.
Aus Jaekel, Die Wirbeltiere.

sie sich in Kalken oder Schiefnern der Trias, des Jura und der unteren Kreide. Es sind schwimmende Formen von oft ganz bedeutender Größe.

Unter den Wirbeltieren sind die Fische zu nennen. Die Schmelzschupper sind zahlreich vertreten. Es bilden sich die Knochenfische

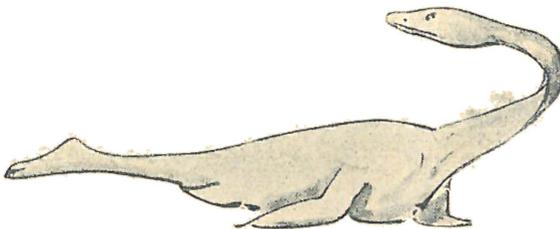


Fig. 70. Rekonstruktion eines jurassischen Plesiosaurus (Reptil) mit kleinem Kopf und langem Hals in liegender Stellung. Nach Jaekel.

Aus O. Jaekel, Wirbeltiere.

heraus, Flugfische lebten bereits. Die Reptilien waren auch dem Meeresleben angepaßt. Der Ichthyosaurus war ein Meeresreptil, ähnlich einem Delphin. Die Meeressaurier erreichten eine Länge bis 13 m. Es waren Raubtiere. Im Meere lebten auch z. B. die Schildkröten.

7. Das Känozoikum oder die Neuzeit. (Fig. 72—86.)

Dieses Zeitalter umfaßt alle jene geologischen Veränderungen der Erde, die sich vom Ende der Kreidezeit bis auf den heutigen Tag abgespielt haben. In den vorhergehenden Zeitaltern leben andere Tiere und Pflanzen als heute, es gab andere Kontinente und Meere, andere Gebirge, das Klima gestaltete sich von dem heutigen verschieden. Wir haben diese Verschiedenheiten und Veränderungen verfolgt und haben erkannt, daß die gesamten geologischen Verhältnisse der Gegenwart um so näher stehen, je jünger sie sind. Im Mesozoikum sind die Anklänge an die Neuzeit weitaus größer, als im Paläozoikum, dennoch noch so sehr abweichend, daß sie die Ur-

sachen waren, die Gesamtheit dieser Erscheinungen als verschieden von den heutigen abzutrennen und sie als die Übergangszeit gleichsam, als das Mittelalter der Erde zu bezeichnen.

Die heutigen Verhältnisse beginnen sich so recht erst im Känozoikum mit der Grenze von Kreide und Eozän herauszubilden; darum wird diese Zeit als die Grenze zwischen dem Mittelalter und der Neuzeit betrachtet.

Auch die Neuzeit der Erde muß als ein Zeitraum von ungemein langer Dauer angesehen werden. Wir unterscheiden innerhalb des



Fig. 71. Ein gehörnter und durch einen knöchernen Nackenschild geschützter pflanzenfressender Dinosaurier (Triceratops) aus der Kreideformation Nordamerikas. Körperlänge 7 m.

Aus O. Abel Bau und Geschichte der Erde.

Känozoikum eine Tertiär- und eine Quartärformation. Jede wird wieder in sich gegliedert. Und zwar teilt man das Tertiär von unten nach oben in: Eozän, Oligozän, Miozän und Pliozän. Die Quartärformation gliedert man in das Diluvium oder die Eiszeit und in das Alluvium oder die rezente Zeit (Jetztzeit).

Das Känozoikum ist durch eine Reihe von Merkmalen gekennzeichnet.

In der Verteilung von Wasser und Land ergeben sich große Verschiedenheiten gegen früher. Im Eozän und Oligozän treten die Meere gegenüber dem Festlande sehr zurück und die Tethys, jenes Mittelmeer, das durch das ganze Paläozoikum und Mesozoikum ein zentrales, Eurasien von Indo-Afrika trennendes Meer war, ein Ozean, vielleicht vergleichbar dem Atlantischen, wird zum größten Teil

Land. Mit diesem Hervortreten des Festlandes ging zugleich auch die Bildung der jungen Kettengebirge, der Alpen, Karpaten, des Himalaya vor sich. Diese gewaltigen Bewegungen in der Erdrinde hatten große vulkanische Ausbrüche im Gefolge. Es entstanden in der Erdrinde und auf ihr vulkanische Gesteine in Form von Stöcken, Gängen, Lavaströmen. Die Erdrinde zeigt eine lebhafte Tätigkeit, es ist so, wie wenn durch das Mesozoikum hindurch die der Erde innewohnenden gewaltigen gebirgsbildenden und vulkanischen Kräfte geschlummert hätten und im Tertiär wieder zu neuem Leben erwachten.

In bezug auf die Gesteine unterscheidet sich das Kaenozoikum auch insofern von den früheren Formationen, als vor allem die Kalkbildung zurücktritt. In Kaenozoikum finden wir nirgends Kalkbildungen von so großer Mächtigkeit, wie wir sie z. B. aus der Trias der Alpen kennen. Es sind meist lockere Gesteine, die zum Absatze kommen, Sande, Tone, Sandsteine, Mergel, Mergelschiefer, Konglomerate, Quarzite und endlich Kalke. Das unverfestigte lose Material, wie Sande, Schotter tritt hervor und deutet auf andere Verhältnisse als in früheren Perioden. Die Bildung loser Gesteinsmassen hängt offenbar damit zusammen, daß man es mehr mit Ablagerungen einer seichten See oder direkt mit Flußablagerungen zu tun hat. Die Sedimente tieferer See vermissen wir meist im Kaenozoikum, weil eben die Meere auf die heutigen Ozeanbecken bereits zurückreichen und uns nur die Bildungen flacher Meeresteile, auf Kontinentalsockeln gelegen, bekannt sind. Im Kaenozoikum spielen die Bildungen von Flachmeeren und Strandzonen, brackische, limnische, fluviatile, äolische und glaziale Bildungen eine große Rolle.

Diese Sedimente haben als die jüngsten meist ihre ursprüngliche flache Lagerung bewahrt, ausgenommen sind die Tertiärbildungen der jungen Kettengebirge, die oft Tausende von Metern hoch aufgefaltet worden sind.

In der Verteilung von Wasser und Land bilden sich allmählich die heutigen Verhältnisse heraus. Die heutigen Kontinente der Erde trennen sich und werden selbständige Massen, wengleich während des Kaenozoikum selbst bis in die jüngste Zeit hinein fortwährende Veränderungen stattgefunden haben, die zu vorübergehenden Verbindungen zwischen einzelnen Kontinenten führten, so zwischen Nordamerika und Europa, zwischen Europa und Afrika. Diese zeitweise bestehenden Landbrücken bildeten wichtige Zugstraßen für die Landtiere, ganz besonders für die Säugetiere. Auf diesen Landbrücken erfolgte der Austausch der Landfaunen von einem Entwicklungszentrum zum anderen. An den Küsten solcher Landbrücken war auch für die Strandfaunen Gelegenheit zu Wanderungen von Kontinent zu Kontinent gegeben.

Die klimatischen Verhältnisse der Neuzeit sind vor allem durch die Klimazonen auf der Erde charakterisiert. Auch dürfte im Beginn dieser Zeit das Klima allgemein wärmer gewesen sein als am Ende, wo wir im Diluvium eine weite Strecken ergreifende Vereisung nachweisen können.

Was nun das Leben anbelangt, so finden wir mit Beginn des Känozoikum so tiefgreifende Veränderungen, wie nicht bald viel-



Fig. 72. Nummulites laevigatus Lamarki ($\frac{2}{3}$ nat. Größe) Soissonais.
Aus E. Haug, Traité de géologie.

leicht zu irgend einem anderen Zeitpunkt in der Erdgeschichte. Reich entwickelte Tierklassen des Meeres sowohl als auch des Festlandes, oft Riesenformen von 20—30 *m* Länge sterben aus, dafür treten ganz andere Tierklassen auf den Schauplatz.

Im Eozän erfolgt das unvermittelt rasche Aufblühen der Säugetiere. Es sind meist kleine Formen, häufig wenig differenziert, doch erscheinen im Eozän Europas und Amerikas zahlreiche deutlich von-

einander geschiedene Land- und Seesäuger. Ausgezeichnet sind die Landtiere durch eine Reihe ursprünglicher primitiver Merkmale. Es sind zum Teil sogenannte Sammel- oder Kollektivtypen, Formen, welche die Merkmale verschiedener Gruppen in sich vereinigen. So kommen den Landtieren ursprüngliche Merkmale zu, wie fünf-



Fig. 73. *Cerithium papyraceum* Bast.



Fig. 74. *Fusus Valenciennesi* Grat.



Fig. 75. *Pleurotoma Larmarki* Bell.



Fig. 76. *Pleurotoma Baddensis* R. Hoern.



Fig. 77. *Pleurotoma cataphracta* Brocc.



Fig. 78. *Pleurotoma Allionii* Bell.



Fig. 79. *Turritella turris* Bast.



Fig. 80. *Trochus patulus* Brocc.

Aus Schaffer, Wiener Becken II.

zehige Gliedmaßen, lange und niedrige Schädel, kleines Gehirn, langer Schwanz und wenig differenziertes Gebiß. Im tieferen Tertiär erscheinen von Säugetieren bereits die Gruppen der Insektenfresser, der Fledermäuse, Fleischfresser, der Zahnarmen, der Wale, Huftiere, Nagetiere und Affen.

Ebenso plötzlich und unvermittelt wie die Säugetiere treten die Nummuliten auf. Es sind dies kleine Foraminiferen, die zu Milliarden sich in Kalkgesteinen finden. Die winzigen Schalen finden sich so zahlreich beisammen in einem Kalke, daß er fast nur aus solchen

Foraminiferen besteht, dabei erreichen diese Nummulitenkalke oft recht beträchtliche Mächtigkeit.

Diese hier erwähnten Formen treten im Tertiär bedeutsam hervor. Daneben spielen natürlich als Meeresbewohner Muscheln und Schnecken eine immer größer werdende Rolle. Es fehlen auch nicht die anderen Tierkreise.

In der späteren Tertiärzeit erfolgt das rasche Aufblühen der einzelnen Landsäugetiere. Im Miozän finden sich auch die ersten Menschenaffen.



Fig. 81. *Chenopus alatus* Eich.



Fig. 84. *Pyrula rusticula* Bast.



Fig. 82. *Murex spinicosta* Bronn.



Fig. 83. *Fusus vindobonensis* R. Hoern.



Fig. 85. *Murex aquitanicus* Grat.

Aus Schaffer, Wiener Becken II.

Im Miozän ist Europa von einzelnen Binnenseen bedeckt. Ein solcher Binnensee zog am Nordrande der Alpen und Karpaten entlang, füllte zum Teil die ungarische Tiefebene und einzelne Becken innerhalb der Alpen, z. B. das Wiener Becken, das sich zwischen dem Manhardsberge, den Alpen, den Karpaten ausbreitete und längs der Thermenlinie von Wien bis Gloggnitz tief in den Alpenkörper einschnitt. Zu jener Zeit herrschte in unseren Gegenden tropisches Klima. Auf dem Festlande lebte eine Fauna, wie sie sich heute in Innerafrika findet, und im Meere lebte eine Fauna, die ähnlich ist der Fauna im hinterindischen Archipel. Im Meere finden wir an den Küsten kalkbildende Algen, die Lithothamnen, rasen- oder korallenartige Stöcke aufbauend. Seeigel, große Kammuscheln finden sich häufig



1

2

3

4

5

6

Fig. 86. Mitteleuropäische Landschaft zur Miozänzeit. (Nach einem Aquarell von Heinr. Niederbühl.) 1 Mastodon (Urelefant), 2 Paläotherium (Alttier, eig. oligozän), 3 Dicroceras (Muntjakhirsche), 4 Listriodon (Wildschweine), 5 Aceratherium (hornloses Nashorn), 6 Anchitherium (Zwischentier, zebraartiger Vorläufer des Pferdes).

Aus B. Lindemann, Die Erde.

in diesen Riffkalken, desgleichen auch Austern. In ungemein reicher Zahl bevölkern Schnecken und Muscheln das Meer, dessen Spiegel damals 450 m höher lag als heute das Adriatische Meer. Von Wirbeltieren sind Bartenwale, Delphine und Schildkröten bekannt geworden. Der Wiener Wald bildete einen langgestreckten Ausläufer der Alpen, in die miozäne See hinein. Wo heute fruchtbarer Boden ist, Gebirge sich erheben, da lag damals blaues wogendes Meer, seine Wellen brandeten an den Küsten der Alpen. An den Ufern weideten elefantenartige Tiere, Mastodonten, Dinotherien, Nashörner.

Neben diesen Tieren gab es noch Menschenaffen, Krokodile und eine Fauna, die der heutigen schon näher kommt, so Schweine, Hirsche, pferdeartige Tiere, Katzen, Ottern und Marder.

Wichtige Veränderungen der Floren und Faunen ergeben sich in der Folgezeit. Es treten häufige Schwankungen in der Verteilung von Wasser und Land ein. Die tropischen Formen ziehen sich mehr gegen Süden zurück. Es tritt uns im Pliozän die allmähliche Verlandung Europas entgegen und eine Fauna, die noch die Überreste der alten tropischen Fauna enthält, aber dazu kommen neue Formen, wie das dreizehige Pferd, Giraffen, Antilopen, Tiger, Hyänen.

Während in unseren Breiten im Tertiär tropisches Klima herrschte, ist auch im hohen Norden das Klima viel wärmer gewesen als heute. Den unzweifelhaften Beweis dafür geben uns die Floren und Faunen von Grinnell-Land auf 81° 45' nördlicher Breite, von Spitzbergen, von Grönland, Ostsibirien, Kamtschatka, Alaska und Nordkanada. Das ganze Gebiet, das heute zum Teil von Inlandeis bedeckt, rau und unwirtlich ist, hatte damals viel wärmeres Klima, vielleicht ein ähnliches, wie es heute am Genfer See herrscht. Kiefern, Fichten, Pappeln, Ulmen, Birken, Eichen, Platanen, Nußbäume, Magnolien, Sumpfyypressen wuchsen im Miozän in jenen Gebieten, während heute Grönland von mächtigem Inlandeis bedeckt ist.

Daraus geht hervor, daß im Miozän die Polregionen unvereist waren, ein mehr gemäßigtes Klima besaßen. Andererseits geht kurze Zeit darauf, im Diluvium, eine weit nach Süden bis an die Sudeten und Karpaten reichende Vereisung Europas vor sich, die auf eine ganz bedeutende Abkühlung der Erde wieder deuten würde. Innerhalb geologisch kurzer Perioden haben sich auf engbegrenzten Gebieten große klimatische Schwankungen ergeben.

Die Abkühlung im Quartär ist allgemein und hat weitgehende Vergletscherungen großer Teile Europas, Asiens und Amerikas zur Folge. Wie schon erwähnt, dringen die Eismassen aus dem Norden über die Ostsee nach Norddeutschland ein, das fremde Material, das in Form von Moränen mitgetragen wird, findet sich oft als sogenannte »Wanderblöcke« in der norddeutschen Tiefebene. Nordische Gesteine, wie Granite, daneben auch typische Versteine-

rungen des nordischen Silur finden sich als glaziale Geschiebe am Nordsaume der Karpaten und der Sudeten.

Auch die Alpen lagen tief im Eis begraben. Sie waren von mächtigen Eismassen bedeckt, die sich von den Hauptkämmen der Alpen durch die Haupttäler weit hinaus ins Vorland ergossen. So hatte das Drautal einen großen Gletscher, das Murtal, die Salzach, der Inn. Die Gletscher rückten mit ihren Eismassen weit in das Tal hinaus. So wird für das Murtal die Stirn des Gletschers bei Judenburg angenommen. Der Gletscher des Inn drang in mehrere Arme zerteilt bis gegen München vor. Die östlichen Ausläufer der Alpen trugen keine größeren Gletscher mehr. Die Vereisung ist kein einheitliches Phänomen. Perioden mit kälterem Klima wechselten mit solchen von wärmeren. In einer solchen schmolz das Eis weit bis in das Innere des Gebirges ab, dem zurückweichenden Gletscher folgte die Vegetation, die Fauna in das verlassene Gebiet. Wurde aber das Klima wieder kälter, die Niederschläge reicher, so entstand eine neue Eiszeit, getrennt von der vorhergehenden durch eine Interglazialzeit. Für die Alpen sind vier solcher Glazialzeiten unterschieden worden. Jeder Glazialzeit entspricht ein Vorstoß des Gletschers, ein kälteres Klima, der Interglazialzeit dagegen ein Rückzug der Gletscher und ein wärmeres Klima.

Wenn wir die Flora Mitteleuropas während der Eiszeit betrachten, so erkennen wir, daß sie zur Zeit der Hauptvereisung eine ähnliche war, wie sie heute in den Tundren Nordasiens und Nordeuropas lebt. Nordische Pflanzen wanderten nach Süden und besiedelten eisfreie Regionen. So finden wir heute in den Alpen nordische Einwanderer, so die Polarweide, die Zwergbirke. Nach dem Rückzuge der Gletscher verwandelten sich die tundrenartigen Ebenen in Steppen, Wiesen und Waldgelände. Die Kälte liebenden Pflanzen und Tiere folgten dem Eise zurück in die Alpen.

Das weitestverbreitete Tier während der Eiszeit ist das Mammut. Es gleicht dem indischen Elefanten, war aber zum Schutze gegen die Kälte mit dichtem Haar bedeckt. Das Mammut wurde von Menschen gejagt. Größer noch war der Urelefant, das größte Landtier, das es je gegeben hat. Es erreichte eine Höhe von 5 *m*. Nashörner, das Nilpferd, der Riesenhirsch, der Höhlenbär, die Höhlenhyänen, Höhlenwölfe, Höhlenlöwen, der Urstier, der Wisent oder Auerochs, Pferde, das Renntier, ferner kleine Steppentiere, wie die Saigaantilope, der Pferdespringer, das Steppenmurmeltier bildeten die Tierwelt zur Eiszeit.

Es ist schon früher bemerkt worden, daß im Diluvium überall auf der Erde die Landtiere Riesenformen hatten. Ein in dieser Hinsicht recht auffallendes Beispiel sehen wir in Südamerika. Es treten Riesentiere auf aus der Gruppe der Zahnarmen oder Faultiere. Die heutigen Formen aus dieser Gruppe sind kleine baumbewohnende Tiere. Im Pliocän Südamerikas sind Riesenformen von der Größe

eines Elefanten vorhanden. Ebenso erreichen die den Gürteltieren verwandten Formen Riesengröße. Sie sind ähnlich den Schildkröten von einem Panzer umgeben. Einige von diesen Formen werden 3—4 *m* lang. Auch die Huftiere erreichen beträchtliche Größen. In Australien entwickeln sich im Diluvium die Beuteltiere zu Riesenformen. Desgleichen werden auch flugunfähige Vögel auf Neuseeland, Halbaffen von Madagaskar riesengroß.

In das Diluvium fällt auch das Auftreten des Menschen. Die ältesten Funde von Menschenknochen stammen in Europa von Belgien, Neandertal bei Düsseldorf, Heidelberg, Taubach bei Weimar, Krapina in Kroatien u. a. Dieser Eiszeitmensch unterscheidet sich von uns durch seinen niederen Schädel, niedere »fliehende« Stirn, ferner sind die Knochenwülste über den Augenhöhlen stark entwickelt. Es fehlt der Kinnvorsprung. Die Gliedmaßen sind im ganzen recht plump und schwerfällig. Es ist ein Jäger, der in Horden lebt. Er wohnte in Höhlen. Steine, mehr oder weniger behauen, dienten anfangs als Werkzeuge. Diese erste Stufe des Menschen bildet die Steinzeit. Mit der Zeit lernt er die Steine kunstvoll zu Werkzeugen zu verarbeiten, neben den Sorgen des Tages nach Nahrungserwerb entwickelt sich bei diesen Urmenschen bereits ein künstlerischer Sinn. In Höhlen finden wir Zeichnungen der vom Eiszeitmenschen gejagten Tiere.

Auf die Steinzeit folgte die Kupfer-, die Bronze- und endlich die Eisenzeit. Darauf folgt die historische Zeit.

Erklärung von Fremdwörtern.

lat. = lateinisch, gr. = griechisch.

- Abrasion (abradere lat. abkratzen, abschaben), die Abtragung durch die Meereswellen.
- Äolisch (Aeolos gr. der Gott der Winde).
- Alluvium (alluvio lat.), Anschwemmung.
- Aluminium vom lat. alumen Alaun.
- Amphibol von amphibolos gr. zweideutig.
- Anhydrit von anydros gr. (hydor Wasser) wasserlos; im Gegensatze zum wasserhaltigen Gips.
- Anthrazit von anthrax gr. Kohle.
- Antiklinale, Gewölbe, Sattel; antiklino gr. (anti gr. gegen; klino gr. neige) neige dagegen.
- Archaikum von archaios gr. uranfänglich.
- Archaeopteryx Urvogel von archaeos gr. uranfänglich, pter. gr. Flügel.
- Asphalt von asphaltos gr. bei Herodot.
- Augit von auge gr. Glanz.
- Barysphäre von barys gr. schwer und sphaera gr. Kugel, Zone.
- Basalt von basaltos bei Plinius (aus dem Äthiopischen: bselt, bsalt, gekocht, gebacken).
- Biosphäre von bios gr. Leben und sphaera gr. Zone.
- Biotit zu Ehren des Mineralogen J. B. Biot.
- Breccie, breccia ital. Trümmergestein.
- Calamiten von calamüs Halm.
- Cambrium nach Cambria-Wales.
- Cephalaspis von kephale gr. Kopf und aspis gr. Schild.
- Chlorit von chloros gr. grün, nach der gewöhnlichen Farbe der hieher gehörigen Minerale.
- Dekapoden Zehnfüßer, deka gr. zehn, pus gr. Fuß.
- Denudation vom lat. denudare entblößen, Entblößung.
- Devon nach der Grafschaft Devonshire in Südwest-England.
- Diabas von diabasis gr. Übergang, im „Übergangsgebirge“ vorkommend. (So hieß in den Anfängen der geologischen Wissenschaft das Paläozoikum.)
- Diamant von adamas gr. unbezwingbar.
- Diluvial vom lat. diluvium Überschwemmung.
- Diorit von diorizo gr. nenne, unterscheide.
- Diskordant vom lat. discordare abweichen.
- Dislokation vom lat. dis- auseinander und lat. locus Ort. Entfernung vom Ursprungsort.
- Dolomit zu Ehren des Mineralogen G. de Dolomieu.
- Dynamometamorphose von dynamos gr. Kraft, metamorphoo gr. verändern, Umwandlung durch Einwirkung einer Kraft.
- Eozän von eos gr. die Morgenröte und kainos gr. neu, die heranbrechende Neuzeit.
- Epizentrum von epi gr. über und lat. centrum Mitte. Über der Mitte gelegen.
- Erosion vom lat. erodere ausnagen. Ausnagung von Tälern durch fließendes Wasser.
- Erratisch vom lat. errare irren.
- Eruption vom lat. erumpere hervorbrechen.
- Fauna vom lat. Faunus Feld- und Waldgott.
- Firn von firn vorjährig; vorjähriger Schnee.
- Fluviatil vom lat. flumen der Fluß.
- Foraminiferen, einfachste Tierformen mit vielkammerigem Kalkgehäuse und zahlreichen Austrittsporen, foramen lat. Öffnung, ferre lat. tragen.
- Formation vom lat. formatio Gestaltung, Bildung.
- Fossil, Fossilien vom lat. fossilis ausgegraben, versteinert.

- Fukoiden vom lat. fucus Seetang, tangen-
ähnliche Gebilde.
- Fumarole aus dem Italienischen und heißt
Dampfquelle.
- Gastropoden Bauchfüßer von gaster gr.
Bauch, pus gr. Fuß.
- Geiser vom isländischen Geysir, Sprudel.
- Geologie von ge gr. Erde und logos gr. Rede,
Lehre. Die Wissenschaft von der Erde.
- Geosynklinale von ge gr. Erde, syn gr. zu-
sammen, klino gr. neige, liege. Becken-
förmige Einsenkung in der Erdrinde.
- Geothermisch von ge gr. Erde, thermos gr.
Wärme, die Erdwärme betreffend.
- Gips von gypsos gr. weicher Stein, Gips.
- Granit vom lat. granum Körnchen, Korn
wegen der körnigen Ausscheidung sämt-
licher Mineralbestandteile.
- Graphit von grapho gr. schreibe.
- Graptolithen Steinschrift, graphein gr.
schreiben, lithos gr. Stein, sie sehen wegen
ihrer stabförmigen Gestalt aus wie Schrift-
zeichen auf dem Gestein.
- Hydrosphäre von hydor gr. Wasser und
sphaera gr. Zone, Hülle. Wasserhülle.
- Hypozenrum von hypo gr. unten und cen-
trum die Mitte. Der Mittelpunkt der Er-
schütterung.
- Jura nach dem Schweizer Juragebirge.
- Juvenil vom lat. iuvenilis jugendlich, jung.
- Karbon vom lat. carbo Kohle, Kohlen-
formation.
- Kaenozoikum von kainos gr. neu, zoon gr.
lebendes Wesen, Tier.
- Keuper, gewisse Mergel der Trias werden
in Franken so genannt.
- Klastisch von klao gr. zerbreche, aus Bruch-
stücken bestehend.
- Konglomerat vom lat. conglomerare zu-
sammenknäueln.
- Konkordant vom lat. concordare überein-
stimmen.
- Kosmisch von kosmos gr. das Weltall.
- Kontaktmetamorphose vom lat. contactus und
metamorphoo gr. verändern. Umwandlung
durch Berührung.
- Kontraktion vom latein. contrahere zu-
sammenziehen.
- Krater von krater gr. Kessel, Schlund.
- Kreideformation, nach dem Vorkommen
von Schreibkreide.
- Kristall, von krystallos gr. Eis, alle wie Eis
durchsichtigen edlen Gesteine.
- Lamellibranchiaten von lamella Blatt, bran-
chia Kiemen, Blattkiemen.
- Lapilli vom lat. lapillus Steinchen.
- Lava, ein Wort, das im XVIII. Jahrhundert
aus dem Italienischen übernommen wurde.
- Lignit vom lat. lignum Holz.
- Limonit von leimon gr. feuchte Wiese, das
Mineral bildet sich oft im Boden feuchter
Wiesen.
- Litoral vom lat. litus Küste, die Küste
betreffend.
- Lithosphäre von lithos gr. Stein und sphaera
gr. Zone, Gesteinszone.
- Magma von magma gr. Gemisch glutflüssiger
Gesteine.
- Magnetit Magnetis lithos hieß das Mineral
bei den Griechen.
- Marin vom lat. mare das Meer, das Meer
betreffend.
- Mesozoikum von mesos gr. mitten, und zoon
gr. Wesen.
- Meteorit ta meteora gr. die Körper und Er-
scheinungen am Himmel und in der Luft.
- Mineral ist das mittelalt. minerale von mina
die Erzgrube.
- Mineralogie vom lat. minerale und logos gr.
Rede, Wort. Lehre von den Mineralen.
- Miozän von meion gr. und kainon gr. weniger
Neues.
- Mofette war ursprünglich eine italienische
Lokalbezeichnung für die Aushauchungen
von Kohlendioxyd, welche nach Vesuv-
eruptionen in der Umgebung Neapels
vorübergehend eintraten.
- Moräne von Mure Schutthalde.
- Nival vom lat. nives die Schneemassen.
- Nummuliten vom lat. numma die Münze
und lithos gr. der Stein, wegen der schei-
benförmigen Gestalt.
- Oligozän von oligos gr. wenig und kainos gr.
neu.
- Olivin, wegen der olivengrünen Farbe des
Minerals.
- Orthoceren von orthos gr. gerade und keras
gr. das Horn, Nautilid von gestreckter
Gestalt.

- Paläontologie von palaios gr. alt, ongr. das Wesen (seiend) und logos gr. Lehre, Wissenschaft von den alten Lebewesen, Versteinerungen.
- Perm nach dem Gouvernement Perm in Rußland.
- Paläozoikum von palaios gr. alt und zoon gr. das Wesen.
- Petrographie von petra gr. Fels und graphe gr. Beschreibung, Gesteinslehre.
- Petroleum von petra gr. Fels und lat. oleum Öl, Steinöl.
- Phyllit von phyllon gr. Blatt, wegen der Schieferung in Blättchen.
- Pliozän von pleion gr. mehr und kainos gr. neu.
- Pluvial vom lat. pluvius der Regen.
- Porphyrisch von Porphyr, porphyra gr. Purpurfarbe. Das Gestein hieß porphyrides lithos bei den Griechen.
- Pteropoden Flossenfüßer von pter. gr. Flügel, Flosse, pus gr. Fuß.
- Quartär vom lat. quattuor vier. Aus jener Zeit stammend, als vier Formationen unterschieden wurden.
- Radial vom lat. radius der Halbmesser.
- Radiolarien mikroskopisch kleine Meeres-tiere, Kieselskelett mit kleinen Strahlen (radioli).
- Regionalmetamorphose vom lat. regio die Richtung und metamorphoo gr. verändern.
- Regression vom lat. regredere zurückgehen.
- Rezent vom lat. recens jung, gegenwärtig.
- Sediment vom lat. sedimentum Absatz.
- Sekundär vom lat. secundus der zweite.
- Serpentin vom lat. serpens die Schlange, wegen der grünlich schillernden Farbe.
- Seismograph von seio gr. erschüttern und graphein gr. aufschreiben.
- Seismometer von seio gr. erschüttern und metron gr. das Maß.
- Silur nach dem keltischen Volksstamme der Silurer in Wales (England).
- Solfatara, italien. Wort, das Schwefelkrater bedeutet.
- Spezifisch vom lat. species die Art.
- Stratigraphie von stratos gr. die Schichte, graphein gr. aufschreiben.
- Syenit von der Ortschaft Syene in Ägypten.
- Synklinale von syn gr. zusammen und klino gr. neige; Mulde.
- System von systema gr. zusammengestellt.
- Tektonik von tektonike gr. Baukunst.
- Therme von thermos gr. Wärme; warme Quelle.
- Tertiär vom lat. tertius der dritte.
- Trachyt von trachys gr. rauh.
- Transgression vom lat. transgredere überschreiten.
- Trias vom lat. tres drei, weil die Formation zuerst dreigeteilt wurde.
- Trilobiten „Dreilapptiere“, weil ihr Körper von vorn nach hinten ebenso wie von rechts nach links sich in drei Teile gliedert.
- Vados vom lat. vadosus seicht, aus geringer Tiefe stammend.
- Vulkan vom Namen des römischen Feuer-gottes Vulkanus.
- Zyklus von kyklos gr. Kreis.