

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

I

L. inw.

~~370~~

270

istteswelt

S. Frech

Allgemeine Geologie
IV: Bodenbildung, Mittel-
gebirgsformen und die
Arbeit des Ozeans

Dritte Auflage



Ea

38

4.

B.G. Teubner · Leipzig · Berlin

Die Sammlung

„Aus Natur und Geisteswelt“

nummehr über 800 Bände umfassend, bietet wirkliche „Einführungen“ in abgeschlossene Wissensgebiete für den Unterricht oder Selbstunterricht des Laien nach den heutigen methodischen Anforderungen und erfüllen so ein Bedürfnis, dem weder umfangreiche Enzyklopädien, noch skizzenhafte Abrisse entsprechen können. Die Bände wollen jedem geistig Mündigen die Möglichkeit schaffen, sich ohne besondere Vorkenntnisse an sicherster Quelle, wie sie die Darstellung durch berufene Vertreter der Wissenschaft bietet, über jedes Gebiet der Wissenschaft, Kunst und Technik zu unterrichten. Sie wollen ihn dabei zugleich unmittelbar im Beruf fördern, den Gesichtskreis erweiternd, die Einsicht in die Bedingungen der Berufsarbeit vertiefend.

Die Sammlung bietet aber auch dem Fachmann eine rasche zuverlässige Übersicht über die sich heute von Tag zu Tag weitenden Gebiete des geistigen Lebens in weitestem Umfang und vermag so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten. In den Dienst dieser Aufgaben haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden.

Seit Herbst 1925 ist eine Neuerung insofern eingetreten, als neben den Bänden im bisherigen Umfange solche in erweitertem, etwa anderthalbfachem zu $1\frac{1}{2}$ fachem Preise ausgegeben werden, weil abgeschlossene Darstellungen größerer Gebiete auf beschränkterem Raume heute schwer möglich sind. Diese Bände, die die Nummern von 1001 ab tragen, erscheinen, um die Einheitlichkeit der Sammlung zu wahren, in der gleichen Ausstattung wie die übrigen Bände. Sie sind nur auf dem Rückentitel durch je ein Sternchen über und unter der Nummer besonders gekennzeichnet.

Alles in allem sind die schönen, gehaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295977

Leipzig, im

De
h
). Teubner

Bisher sind erschienen
zur Erd- u. Völkerkunde, Geologie, Meteorologie:

Allgemeine Geographie.

Geomorphologie. Von Prof. Dr. J. Machatschke. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 627.)

Physiogeographie des Süßwassers. Von Prof. Dr. J. Machatschke. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 628.)

Das Meer, seine Erforschung und sein Leben. Von Professor Dr. O. Janson. 3. Aufl. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 30.)

Geographie der Vorwelt. (Paläogeographie.) Von Prof. Dr. E. Daqué. Mit 18 Figuren im Text. (Bd. 619.)

Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)

Die Verbreitung des Menschen auf der Erdoberfläche (Anthropogeographie). Von Prof. Dr. H. Rebs. Mit 12 Abbildungen im Text (Bd. 632.)

Natur und Mensch. Von Oberstudienrator Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 458.)

Politische Geographie. Von Prof. Dr. W. Vogel. Mit 12 Abb. im Text. (Bd. 634.)

Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Günther. 4. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)

Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsteifen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. Mit 2 Abbildungen im Text und 2 Karten. (Bd. 38.)

Geographisches Wörterbuch. Von Prof. Dr. D. Kende. I. Allgemeine Erdkunde. Mit 81 Abbildungen im Text. (Teubners kleine Fachwörterbücherei. Bd. VIII.)

Länderkunden.

Die deutschen Volksstämme u. Landschaften. Von Geh. Studienrat Prof. Dr. J. D. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abbildungen im Text und auf 20 Tafeln und 1 Dialektkarte Deutschlands. (Bd. 16.)

Belgien. Von Archivar Dr. P. Oswald. 3. Aufl. Mit 4 Karten im Text. (Bd. 501.)

Böhmen. Zur Einführung in die böhmische Frage. Von Prof. Dr. A. J. Kaundl. Mit 1 Karte (Bd. 701.)

Die Baltischen Provinzen. Von Dr. V. Tornius. 3. Auflage. Mit 8 Abbildungen und 2 Kartenstücken. (Bd. 542.)

Finnland. Von Gesandtschaftsrat J. Ohquist. (Bd. 700.)

Polen. Mit einem geschichtlichen Überblick über die polnisch-ruthenische Frage. Von Prof. Dr. A. J. Kaundl. 2., verbesserte Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 547.)

Russland. Geschichte, Staat, Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 563.)

Die Slawen. Von Prof. Dr. P. Diels. (Bd. 740.)

Island, das Land und das Volk. Von Prof. Dr. P. Herrmann. Mit 9 Abb. (Bd. 461.)

Neugriechenland. Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)

Die Türkei. Von Reg.-Rat P. A. Krause. Mit 2 Karten i. L. u. auf 1 Tafel. 2. Aufl. (Bd. 469.)

Palästina u. seine Geschichte. Sechs vollstänl. Vorträge. Von Prof. Dr. Freiherr v. Soden. 4. Aufl. Mit 1 Plan von Jerusalem und 3 Ansichten des Heiligen Landes. (Bd. 6.)

***Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Nach den neuesten Ausgrabungen und Forschungen dargestellt von Oberstudienrat Prof. Dr. P. Thomsen. 3. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 260.)

Indien. Von Professor Dr. E. Konow. (Bd. 614.)

Australien und Neuseeland. Land, Leute u. Wirtschaft. Von Prof. Dr. A. Schachner. Mit 23 Abbildungen. (Bd. 366.)

Anthropologie und Ethnologie.

Vorgeschichte Europas. Grundzüge der alteuropäischen Kulturentwicklung. Von Prof. Dr. H. Schmidt. I. Stein- und Bronzezeit. Mit 8 Tafeln und 2 Zeittabellen. *II. Eisenzeit. (Bd. 571/72.)

Entwicklungsgeschichte des Menschen. Vier Vorlesungen. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit 61 Abbildungen nach Photographien und Zeichnungen. (Bd. 388.)

Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 47 Abbildungen. (Bd. 62.)

Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. Von Geh. Vergat Prof. Dr. G. Steinmann. 3. Aufl. (Bd. 302.)

Allgemeine Völkerkunde. 3 Bände.

I. Feuer, Nahrungserwerb, Wohnung, Schmuck und Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. Mit 54 Abb. II. Waffen und Werkzeuge, Industrie, Handel und Geld, Verkehrsmittel. Von Dr. A. Heilborn. Mit 51 Abb. III. Die geistige Kultur der Naturvölker. Von Prof. Dr. K. Th. Preuß. 2. Aufl. (Bd. 487-488, 452.)

Vermessungs- und Kartenkunde.

Die Landmessung. Von Geh. Finanzrat F. Sudow. Mit 69 Zeichnungen im Text. (Bd. 608.)

Kartenkunde. Von Finanzrat Dr. Ing. A. Egerez. I. Einführung in das Kartenverständnis. Mit 49 Abbildungen im Text. (Bd. 610.)

Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Von Geh. Reg.-Rat Prof. E. Hegemann. Mit 11 Figuren im Text. (Bd. 609.)

Photogrammetrie. (Einfache Stereo- und Luftphotogrammetrie.) Von Dipl.-Ing. H. Eüßler. Mit 78 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. (Bd. 612.)

Nautik. Von Direktor Dr. J. Möller. 2. Aufl. Mit 64 Fig. im Text u. 1 Seelarte. (Bd. 255.)

Geologie.

Allgemeine Geologie. Von Geh. Vergat Prof. Dr. St. Frech. 6 Bände. 3. Aufl. (Bd. 207/11, 61.) I. Vulkane einst und jetzt. Mit Titelbild und 78 Abb. II. Gebirgsbau und Erdbeben. Mit Titelbild und 57 Abb. III. Die Arbeit des fließenden Wassers. 4. Aufl. Mit 1 Titelbild und 50 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. IV. Die Bodenbildung, Mittelgebirgsformen und Arbeit des Ozeans. Mit 1 Titelbild und 68 Abb. V. Steintobler, Wüsten und Klima der Vorzeit. Mit 39 Abb. im Text. VI. Gletscher einst und jetzt. Mit 46 Abb. im Text.

Unsere Kohlen. Eine Einführung in die Geologie der Kohlen unter Berücksichtigung ihrer Gewinnung, Verwendung und wirtschaftlichen Bedeutung. Von Privatdozent Bergassessor Dr. P. Kukul. 3., verb. Aufl. Mit 55 Abb. i. L. und 3 Tafeln. (Bd. 396.)

Weltentstehung in Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. K. Ziegler und Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 4 Figuren im Text. (Bd. 719.)

Weltuntergang in Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. K. Ziegler und Prof. Dr. S. Oppenheim. (Bd. 720.)

Meteorologie.

Einführung in die Wetterkunde. Von Prof. Dr. L. Weber. 3. Aufl. Mit 28 Abb. im Text und 3 Tafeln. (Bd. 55.)

Unser Wetter. Eine Einführung in die Klimatologie Deutschlands an der Hand von Wettertafeln. Von Dr. A. Hennig. 2. Aufl. Mit 48 Abb. im Text. (Bd. 349.)

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung

Brunnenberg 1560 m

Riefengrund des Aupa-Tales Koppentlan (ca. 1400 m)
(Wandverwitterung m. Lawinresten) sehr alte Rumpffläche ohne Glazialspuren



Wasserfcheide zwischen Aupa und Comniß
Rielenbaude 1394 m

Melzergrund des Comniß-Tales



Panorama der Hochflächen des Riefengebirgskammes, vom Westabhang der Schneefoppe aus aufgenommen

Photographie Prof. Dr. M. Friederichsen

340

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

210. Bändchen

Allgemeine Geologie

IV. Bodenbildung, Mittelgebirgsformen und die Arbeit des Ozeans

Von

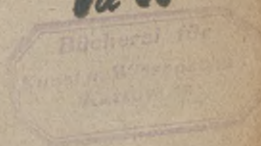
Dr. Fritz Frech

Geh. Bergrat,
Professor an der Universität Breslau

Dritte, wesentlich erweiterte Auflage

Mit einem Titelbild
und 68 Textabbildungen

2a 38



Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1918



Handwritten numbers: 05:11111

Handwritten: 124/3

Handwritten: 62.

Inhalt des ersten bis sechsten Bändchens.

I. Vulkane (1904, III. Aufl. 1917).

- | | |
|--|---|
| 1. Vulkane und vulkanische Tätigkeit (Aschenkegel oder eigentliche Vulkane, Massenausbrüche usw.). | mus (Geyfers, Fumarolen, Moossetten und Seenbildung). |
| 2. Vulkanische Ausbruchsgesteine. | 4. Zeitliche und räumliche Verteilung der vulkanischen Erscheinungen. |
| 3. Nachwirkungen und Vulkanis- | |

II. Gebirgsbau und Erdbeben (1910, III. Aufl. 1917).

- | | |
|--|-------------------|
| 1. Gebirge und ihre Entstehung. | 3. Erdbeben. |
| 2. Forts. von I. (Einzelne Beispiele.) | 4. Das Erdinnere. |

III. Die Arbeit des fließenden Wassers (1908, III. Aufl. 1914), eine Einleitung in die physikalische Geologie.

- | | |
|----------------|-----------------------------|
| 1. Wildbäche. | 3. Karstbildung und Höhlen. |
| 2. Talbildung. | 4. Quellen und Grundwasser. |
| | 5. Bergstürze. |

IV. Bodenbildung, Mittelgebirgsformen und die Arbeit des Ozeans (1908, III. Aufl. 1917).

- | | |
|---|--|
| A. 1. Bodenbildung (chem. Tätigkeit, Bildung des Ader- und Waldbodens, Klima und Bodenbildung). | bildung, Flachsee, Hochsee und Meeresgrund, Ablagerungen der Tiefsee, bathyale [hemipelagische oder terrigene] Abläge, chemische Abläge des Meeres, die deutschen Kalisalzlagerstätten). |
| 2. Landschaftsform im Mittelgebirge und Wirkung der Abtragung (Wald- und Mittelgebirge, Übergang zum Hochgebirge, Rumpfflächen [peneplains]). | 4. Korallenriffe und Kaltbildung. |
| B. 3. Küstenbrandung und Gesteinsbildung (Strandbildung, Strandterrassen, Landgewinn und Landverlust; Schichten- | 5. Geographie der Ozeane in der geologischen Vorzeit (tiergeographische Provinzen, Vordringen und Rückzug der Ozeane). |
| | 6. Dauer oder Veränderlichkeit der Weltmeere? |

V. Steinkohle, Wüsten und Klima der Vorzeit (1910, II. Aufl. 1911).

- | | |
|---|---|
| 1. Vergangenheit und Zukunft der Kohle. | 3. Löss und Steppen. |
| 2. Wüsten und Dünen der Gegenwart. | 4. Trockene und feuchte Perioden in geologischer Vorzeit. |
| | 5. Klima der Vergangenheit. |

VI. Gletscher einst und jetzt (1910, II. Aufl. 1911).

- | | |
|---|---|
| 1. Lawinen und Gletscher (Arbeit d. Eises i. d. Gegenwart). | 2. Das Werk der Eiszeit und die Einheitlichkeit ihrer Klima-Änderung. |
| | 3. Fjords und Seenbildung als Wirkung der Eiszeit. |

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1918 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließl. des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die überaus günstige Aufnahme, welche das erste Bändchen gefunden hat, legt der Verlagshandlung und dem Verfasser den Gedanken einer Fortführung und Erweiterung nahe. Diese bezweckt, in dem Raume von sechs kleineren Bänden eine vollständige Darstellung der Fragen der allgemeinen Geologie und physischen Erdkunde zu geben. Infolgedessen wird auch hier die gegenüberstehende Disposition des Gesamtgebietes wiederholt; die in dem vorliegenden Bändchen behandelten Abschnitte sind **fett** gedruckt.

Die vorstehende Disposition zeigt in der Reihenfolge keine Abweichungen von der ersten Auflage und in dem Hervorheben einzelner Themata nur geringe Veränderungen. Auf gute, möglichst neue Abbildungen und lebendige Darstellung wurde von der Verlagshandlung besonderer Wert gelegt.

Breslau, im Februar 1908.

S. Grech.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die Notwendigkeit einer neuen Auflage, welche die Bändchen I-IV umfaßt, hat sich erfreulicherweise sogar während des Weltkrieges geltend gemacht, trotzdem die hohe Auflageziffer die ähnlicher Werke weit übersteigt. Die gründliche Vorbereitung, d. h. die vollständige Berücksichtigung der neuen Literatur wird dem Verf. durch die von ihm mitgeführte Redaktion des Neuen Jahrbuchs für Mineralogie und Geologie erleichtert.

Der erste Abschnitt über Bodenbildung hat durch den Leiter der Landwirtschaftlichen Versuchsstation in Rostock, Dr. E. Bland auf Grundlage der zahlreichen neuen Beobachtungen eine vollkommene Neubearbeitung erfahren. Hierbei wurde besonders den klimatologischen Gesichtspunkten, die allerdings auch schon in den früheren Auflagen Berücksichtigung gefunden hatten, in weitgehendstem Maße Rechnung getragen: Der Abschnitt über die Salz- und Kalilagerstätten ist auf Grundlage der maßgebenden Anschauungen von Lachmann und Arrhenius durch den Herausgeber gänzlich neu bearbeitet worden.

Der für die neuen Beobachtungen über Bilder und Umfang der Salz- und Kalisalzager notwendige Raum wurde i. a. durch Kürzung aller Abschnitte gewonnen, so daß der Umfang unverändert blieb. Die Abbildungen wurden ebenso wie der Text einer sorgfältigen Durchsicht unterworfen, und die in der vorigen Auflage noch nicht völlig befriedigenden Vorlagen durch neue ersetzt.

Breslau 1917.

S. Grech.

Inhalt von Band IV.

| | Seite |
|--|-------|
| Einleitung | 1 |
| A. Die chemische Arbeit des Wassers auf dem Festlande. | |
| I. Bodenbildung | 3 |
| 1. Chemische Tätigkeit des Wassers | 4 |
| 2. Bildung des Acker- und Waldbodens | 13 |
| 3. Klima und Bodenbildung | 20 |
| II. Landschaftsform im Mittelgebirge und die Wirkung der Abtragung | 26 |
| 1. Einleitung | 26 |
| 2. Landschaftsformen unserer Mittelgebirge | 28 |
| 3. Wald und Mittelgebirge | 34 |
| 4. Mittelgebirge mit ehemaliger Vergletscherung bilden den Übergang zum Hochgebirge | 37 |
| 5. Über Kumpfflächen (peneplaines) | 39 |
| Ergebnisse | 46 |
| B. Die Arbeit des Ozeans. | |
| III. Küstenbrandung und Gesteinsbildung auf dem Grunde des Weltmeeres | 47 |
| A. Brandung, Küstenbildung, Strandterrassen | 47 |
| 1. Brandung und Brandungsstrand | 47 |
| 2. Alte Terrassen | 53 |
| 3. Landgewinn und Landverlust in Großbritannien und Norddeutschland | 57 |
| B. Die Bildung der Gesteine | 59 |
| 4. Schichtenbildung | 59 |
| 5. Flachsee, Hochsee und Meeresgrund | 63 |
| 6. Die Ablagerungen der eigentlichen Tiefsee | 65 |
| 7. Die bathynalen (hemipelagischen oder terrigenen) Absätze | 68 |
| 8. Chemische Absätze des Meeres | 74 |
| 9. Die deutschen Kalisalzlagerstätten und ihre Entstehung | 74 |
| 10. Die verschiedenartigen, gleichzeitig gebildeten Meeresablagerungen (Faciesbildungen) der Vorzeit | 91 |
| IV. Korallenriffe und Kalkbildung | 91 |
| 1. Bemerkungen über die Bildung der Korallenriffe der Jetztzeit | 95 |
| 2. Einwürfe gegen die Senkungstheorie Darwins | 98 |
| 3. Die Riffe früherer Erdperioden | 104 |
| 4. Bergformen der geologischen Riffe | 109 |
| V. Geographie der Ozeane in der geologischen Vorzeit | 118 |
| 1. Meeresprovinzen oder tiergeograph. Regionen der Gegenwart | 119 |
| 2. Meeresprovinzen der Vorzeit | 123 |
| 3. Vordringen und Rückzug der Ozeane | 124 |
| VI. Dauer oder Veränderlichkeit der großen Weltmeere? | 128 |
| Schluß | 135 |
| Anhang: Die geologischen Perioden | 136 |
| Verzeichnis der Abbildungen mit genauer Angabe des Ursprungs | 138 |

~~I 380~~



I 301486

Einleitung zum IV. Bändchen.

Chemische Umsetzungen und die Morphologie der Erdoberfläche.

Der in den biologischen Naturwissenschaften vorkommende Begriff „Morphologie“ umfaßt gleichzeitig die Lehre von den Formen und die Untersuchung über ihre Entstehung und Ausbildung. Auf die Erdoberfläche übertragen, bildet die Feststellung der tatsächlichen Verhältnisse, der Verteilung von Land und Meer, von Berg und Tal, von Lage und Lauf der Flüsse und Seen das zunächst liegende Objekt des Studiums. Während aber die Untersuchung der vorhandenen Formen der Erdoberfläche bis in das Altertum, bis auf Anaximander und Herodot zurückgeht, ist die Erforschung der Ursachen und Kräfte, welche das mannigfach gefurchte Antlitz der Erde geformt haben, verhältnismäßig neu.

Erst mit den weiteren Fortschritten der Geologie seit Anfang des XIX. Jahrhunderts konnte auch die uns beschäftigende geographische Disziplin erfolgreich gefördert werden. Die ihr zugrunde liegenden Erscheinungen zerfallen in zwei Gruppen:

A. Verwitterung, d. h. chemische Zersetzung, Spaltenfrost, d. h. mechanische Zertrümmerung durch das in Spalten gefrierende Wasser, endlich Einfurchung und Abtragung des trockengelegten früheren Meeresbodens durch fließendes Wasser sind die wichtigsten Vorgänge, von denen Abtragung und Bodenbildung im folgenden zunächst behandelt werden. (Vortrag I, II.)

B. Der Aufbau der Erdrinde durch Gesteinsbildung auf dem Meeresboden, und die eben erwähnte Zerstörung der Schichten des trockengelegten Meeresgrundes auf dem Festland beherrscht in häufiger Wiederholung die Erdgeschichte, und diesem Gesichtspunkte ordnen sich die scheinbar unzusammenhängenden Vorgänge unter, die auf den folgenden Seiten behandelt werden.

Die Biologie, d. h. die Lebenstätigkeit der Tiere und Pflanzen des Meeres beherrscht die Bildung der Gesteine und beruht

Akc. Nr.

3774 / 50

BPK-B-63/2014

auf den noch lange nicht dem Abschluß nahen Forschungen der allerjüngsten Zeit. Die „Gesamtheit der Lebensbedingungen“ läßt sich — nach den Worten Ferdinand von Richthofens¹⁾ — „erst an der Hand einerseits des Einblickes in die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Meerwassers und die Tiefenverhältnisse, anderseits der Gesamtkennntnis der Verbreitung aller Organismen an irgendeiner Meeresstelle erkennen. Grundlegend dafür waren die Untersuchungen über den Gasgehalt, ferner die Planktonforschung, die marine Bakteriologie und insbesondere die Kenntnis der mikroskopisch kleinen nitrifizierenden Organismen. In allgemeinen Zügen ersichtlich war schon früher die Verkettung der Lebensbedingungen für die Lebewesen einer der Beobachtung leicht zugänglichen Facies²⁾ wie derjenigen eines Korallenriffs. Die Erforschung dieses biologischen Haushalts des Weltmeeres, welcher als eine Dynamik der marinen Lebewelt bezeichnet werden kann, ist eines der glanzvollsten und anziehendsten Gebiete naturwissenschaftlicher Arbeit in der Neuzeit geworden. Einen eigenen Reiz gewährt das Eindringen in die geheimnisvollen, dem Auge verborgenen Tiefen, wo in endloser Verkettung Welten von Organismen auf die Vernichtung anderer angewiesen sind, um ihre Lebensfunktionen auszuüben, und wo Milliarden von Keimen aufgewendet werden, um die Erhaltung der Arten zu sichern.“

Die Meeresbrandung und die mit ihr in Zusammenhang stehenden Vorgänge der Terrassenbildung und der Abschleifung ganzer Länder und Gebirge bilden den Ausgangspunkt der geologischen Erörterungen (IIIa), während die Fragen der Sedimentbildung (IIIb), Korallenriffe (IV) und der Tiergeographie der gegenwärtigen und vorweltlichen Meere (V) vielmehr auf biologischem Boden ruhen.³⁾ Eine Schlußbetrachtung (VI) ist der Frage der Veränderlichkeit der Meeresbecken und Kontinente gewidmet.

1) Das Meer und die Kunde vom Meer (1904) S. 29.

2) Vgl. Vortrag IV S. 91.

3) Eine grundsätzliche Trennung der biologischen und anorganischen Sedimente ist schon wegen der innigen Mischung der Bestandteile, die den Meeresboden bedecken, undurchführbar.

A.

Die chemische Arbeit des Wassers auf dem Festlande.

Erster Vortrag.

Über Bodenbildung.

Die Tätigkeit des Wassers übt ihren Einfluß sowohl auf dem Festlande wie im Meere aus, indem sie in beiden Regionen einerseits eine Zerstörung und andererseits einen Absatz von Gesteinen herbeiführt. Während aber das Meer das Gebiet vorwiegender Auflagerung darstellt, ist das Festland das Gebiet vorherrschender Abtragung. Das Endprodukt der Abtragung ist der Boden. Bei den verwickelten Vorgängen der Gesteinsaufbereitung ist die wirksamste geodynamische Kraft das Wasser. Diese Kraft äußert sich sowohl in den Wirkungen, die dasselbe vermöge seiner chemischen Beschaffenheit zu leisten vermag und die sich in der Richtung chemischer Umwandlung und Auflösung des Vorhandenen bewegen, als auch vermöge der in physikalischer Hinsicht von ihm ausgelösten Prozesse, die auf den unter verschiedenen Naturbedingungen vom Wasser eingenommenen physikalischen Zustand zurückzuführen sind. Die Vorgänge letzterer Art verursachen lediglich eine mechanische Zertrümmerung des Gesteins. Bei dem Vorgange der Bodenbildung, die zur Hauptsache als die Umwandlung und Zerlegung der Gesteine und ihrer Bestandmassen in die nicht mehr, wenigstens unter den jeweilig herrschenden Bedingungen des Klimas, aufbereitungsfähigen Bestandteile aufgefaßt werden kann, fällt der chemischen Wirkung des Wassers die vornehmste Aufgabe zu. Unterstützt wird die Tätigkeit des Wassers durch den Einfluß niederer und höherer Vertreter aus der Pflanzen- und Tierwelt. In der Gestalt der durch die Lebenstätigkeit der Bakterien hervorgerufenen chemischen Vorgänge, wie in den Wechselbeziehungen der Pflanzenwurzeln zum Standort, sowie ferner in der wühlenden und grabenden Tätigkeit von Tieren aller Art werden nicht unerhebliche Wirkungen hervorgerufen, die zur Entstehung des Bodens führen, denn gerade die Einflüsse letzterer Art sind es, die erst das chemisch und physikalisch veränderte Gestein

zum Boden im Sinne des Landwirts machen. Dabei ist nicht zu vergessen, daß die organischen Lebewesen selbst durch die Zerfalls- und Zersetzungserzeugnisse ihrer eigenen Leibesmasse stofflich hervorragend zum Aufbau des Bodens beitragen, die organische Substanz, den Humus, erzeugen. Wir verstehen daher unter Verwitterung die unter dem vielseitigen Einfluß äußerer Kräfte, namentlich aber des Wassers, bewirkte Zersetzung der obersten Erdrinde.

1. Chemische Tätigkeit des Wassers.

Die chemische Wirkung des Wassers bei dem Vorgange der Gesteinszerlegung gelangt in verschiedener Weise zur Geltung. Einmal wirkt das Wasser als solches, und zwar ist sein Einfluß auf die Gesteine in dieser Gestalt als am bedeutsamsten zu veranschlagen. Ein andermal wirkt es gemeinsam mit dem in ihm gelösten Sauerstoff, Säuren und Salzen, von denen Sauerstoff, Kohlensäure und die Humus Säuren besonders weitgehende Zersetzungen hervorzubringen vermögen, während die gelösten Salze z. T. Veranlassung zur Neubildung und zum Wiederabsatz gelöster Stoffe geben. Stets ist es aber das Wasser, welches die chemische Verwitterung einleitet, insofern dieser Vorgang des Angriffes äußerer, chemisch wirksamer Kräfte an das Vorhandensein von Feuchtigkeit oder Wasser als Vorbedingung seines Vollzuges geknüpft ist, denn nur in Lösung, d. h. unter Vermittelung von Wasser, vermögen sich chemische Umsetzungen zu vollziehen.

Die Art des Angriffes des Wassers und der in ihm gelösten Stoffe, der sog. Verwitterungsagenzien, richtet sich nach der Beschaffenheit des anzugreifenden Gesteins, also nach der chemischen Zusammensetzung desselben. Verhältnismäßig einfach ist der Vollzug des Verwitterungsvorgangs, wenn es sich um die Aufbereitung von solchen Gesteinen handelt, die infolge ihrer chemischen Beschaffenheit den lösenden Einflüssen des Wassers und der mit ihm beladenen Substanzen nur geringen Widerstand entgegenzusetzen vermögen. Zu diesen gehören in erster Linie die Salzablagerungen, die jedoch, gerade infolge des soeben geschilderten Verhaltens dem Wasser gegenüber, nicht an der Erdoberfläche angetroffen werden, sondern vorwiegend im Erdinnern, wo sie durch schützende Gesteinschichten den direkten, lösenden Einflüssen des Wassers entzogen sind. Die Salzgesteine werden bei dem Zusammentreffen mit Wasser von diesem gelöst, und zwar auf dem einfachsten Wege nach dem Gesetze der Sättigung, denn es wird nur so viel Salz

in Lösung gebracht, als das Wasser unter den gerade herrschenden Bedingungen der Temperatur usw. aufzunehmen vermag, d. h. bis die erfolgte Sättigung des Wassers mit Salz einer weiteren Lösung das Ziel setzt. Etwas anders liegen schon die Verhältnisse beim Gips, insofern dessen Wasserlöslichkeit eine weit geringere ist, und noch mehr beim Kalk. Bei der Auflösung des letzteren muß schon die im Wasser gelöste Kohlensäure kräftig zur Mitwirkung beitragen, um eine chemische Auflösung des Kalks in Form von Kalziumbikarbonat zu bewirken. Die immerhin leichte Angreifbarkeit dieser Gesteine, bedingt durch ihre Löslichkeit, lehrt ihre in der Natur überall erfolgte tiefgreifende Abtragung nicht nur gegenüber anderen „härteren“ Gesteinen, sondern namentlich auch das häufige Vorhandensein von Gips- und Tropfsteinhöhlen im Innern von Gips- und Kalkgebirgen. Die verschiedene Löslichkeit der drei wesentlich am Aufbau der Erdrinde in Betracht kommenden Felsarten (Steinsalz, Gips, Kalk¹⁾) bedingt auch eine verschiedenartige Absatzfähigkeit und wirkt so bestimmend auf die Bodenbildung ein. So erklärt sich aus der nachfolgenden Tabelle ohne weiteres, in welcher Weise die drei genannten Gesteine an der Oberflächenbildung in verschiedenartigen klimatischen Zonen Anteil nehmen:

| | Wüste | Steppe (trockener Sommer) | Gegenden mit Nieder- schlag in allen Jahres- zeiten |
|---|---------------------------------------|---|--|
| Steinsalz leicht löslich | durchaus oberflächen- beständig | stellenweise oberflächen- beständig | niemals oberflächen- beständig |
| Gips schwerer löslich | oberflächenbeständig | | Umwandlung aus An- hydrit in Gips, dann löslich; nur in sehr feuchtem Klima aufgelöst |
| Kalk nur in Kohlen- säurehaltendem Wasser löslich | überall oberflächenbeständig | | |

1) d. h. Chlornatrium (NaCl), Kalziumsulfat ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) und Kalkcarbonat (CaCO_3).



Abb. 1. Gipschlotten (Erdfälle) in den Mergeln der weißen Kreide von Galizisch-Podolien.

Jede Auflösung fester Bestandteile entspricht einer Volumenverminderung des Gesteins. Eine scheinbare Ausnahme macht nur der wasserfreie Gips (Anhydrit), der erst löslich wird, sobald er Wasser aufgenommen hat (Abb. 1). Hierdurch entsteht zunächst eine Volumenvermehrung, welche 33% beträgt und Auftreibungen der überlagernden Schichten verursacht. Ein Anhydritwürfel von 100 cbm Inhalt verwandelt sich demnach in einen Gipswürfel, der 133 cbm umfaßt und erst nach dieser Umwandlung löslich wird. So beruhen die Erdfälle und die Entstehung der kleinen Seen am Südrand des Harzes (Seeburger See bei Göttingen) auf der Löslichkeit des Gipses, indem unter den ehemaligen Aufblähungen der Gips und das mit ihm verbundene Steinsalz ausgelaugt wird.

Die „Erdfälle“ oder Erdtrichter besitzen äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit den Felstrichtern oder Dolinen des Karstes (III. Bd. III. Vortrag), entstehen aber nicht durch die von oben nach unten vorschreitende Auflösung des Gesteins, sondern umgekehrt von unten nach oben durch Einsturz eines in Gips ausgelaugten Hohlraumes. Die trichterförmige Gestalt wird durch den eingebrochenen Lehm d. h. durch die Oberflächelage hervorgerufen. Die lehrreichen von Lozinski veröffentlichten Durchschnitte und Ansichten erläutern die obigen Ausführungen. Die Bodensenkungsdolinen entsprechen dagegen echten,

von oben nach unten ansgelaugten Hohlräumen, in die die Lehmschichten in gleichem Tempo nachsinken, daß es somit zu keinem Einsturz kommt.

Die Löslichkeit des Kalkes, die wesentlich von dem Kohlensäuregehalt des Wassers abhängt, kann durch organische Einflüsse gesteigert werden, indem sich Flechten und Wurzeln von Pflanzen in den feinen Rillen des Karren-Kalkes festsetzen. Besonders wird hierdurch die an sich langsame Zersetzung des Kalkes im Hochgebirge beschleunigt. Neue und vielseitige Angriffspunkte für das Wasser schafft ferner die allgemeine Durchdringbarkeit (Permeabilität) der Gesteine, eine gesetzmäßige Erscheinung, die sogar für die Metalle gilt; beobachtet man doch, daß Wassertropfchen durch die Stahlzylinder der hydraulischen Maschinen nach außen dringen.

Den drei löslichen gesteinsbildenden Mineralien stehen solche von weit unlöslicherer Art gegenüber, von denen wir zwei als fast unlösliche Substanzen bezeichnen können, sofern wir ihr Verhalten zu den oben aufgezählten Verwitterungsagenzien unter den klimatischen Verhältnissen mittlerer Breiten der Erde zugrunde legen. Es sind dies Quarz und Ton (Kieselsäure und wasserhaltiges Tonerdesilikat).

Der Quarz welcher etwa den dritten Teil der der Beobachtung zugänglichen Erdrinde bildet, kann einmal als grob- oder feinkörniger Sandstein, sodann auch in verfestigtem Zustande als Quarzit in die Erscheinung treten. Die an die Steilabstürze der Hochgebirge erinnernden Landschaftsformen des Quadersandsteins beruhen auf der Unlöslichkeit des Quarzes (Abb. 2).

Eine Zwischenstufe zwischen den löslichen und unlöslichen Mineralien stellt die sehr schwer lösliche kohlen-saure Magnesia dar, die an der Zusammensetzung des Dolomites Anteil nimmt. Das Gestein Dolomit ist eine Verbindung von kohlen-saurem Kalk mit kohlen-saurer Magnesia in unbestimmtem Mischungsverhältnis.

Von den die Erde zusammensetzenden Gesteinen ist der kohlen-saure Kalk durch die Atmosphärien leicht zersetzbar. Wie rasch und energisch sich diese Vorgänge vollziehen, zeigt die Auflösung der Kalkklippen im Juragebirge und in den Alpen. Der Kalk wird aufgelöst in einzelne Felsen und Klippen, die dem Landschaftsbild ein charakteristisches Gepräge verleihen. Oft werden, besonders an der Meeresküste, die Kalkfelsen von den Fluten unterwaschen, und es erfolgen Einstürze der Kalkplateaus, wie sie z. B. an den Kreideküsten von



Abb. 2. Adersbacher Selsen. Eingang zur Selsenstadt.
Quadersandstein der oberen Kreideformationen.

Südengland oder auf der Insel Gotland häufig sind. (Vgl. Vortrag III S. 47.)

Ganz anders verhält sich der Dolomit. In dieser Doppelverbindung wird der kohlen-saure Kalk sehr bald zer-setzt, während die kohlen-saure Magnesia einer Auf-lösung durch Atmosphä-rilien energischen Wider-stand leistet. Sobald also kohlen-saure Magnesia in einem Kalkgestein auftritt, nimmt dieser Bestandteil im Laufe der Zeit prozentual wesent-lich zu. Denn die Tages-wässer entfernen den leichtlöslichen kohlen-sau-

ren Kalk, die widerstansdfähigere kohlen-saure Magnesia bleibt zu-rück. Die in der Gegenwart entstehenden Kalkgesteine, wie sie uns in den Korallenklippen der warmen Zone entgegentreten, sind zunächst noch reich an Kalk und sehr arm an Magnesia. Die durch Organismen erzeugten Kalke der Vergangenheit sind hingegen ärmer an kohlen-saurem Kalk, der bereits im Laufe der Jahrtausende durch die Tätig-keit der Atmosphä-rilien aufgelöst und entführt worden ist. Die Dolo-mitriffe des Mitteldevon¹⁾ der Eifel waren solche ehemalige Kalk-massive.

In allen Eruptivgesteinen, die aus dem Erdinnern stammen, sind verschiedene Mineralien in verschiedenen Mengenverhältnissen ver-eint. Von den Tiefengesteinen (d. h. den unter der Erdoberfläche er-starnten Eruptionsmassen) spielt der Granit die hervorragendste Rolle. Er setzt ganze Gebirge zusammen und findet sich, teils in

1) Vgl. Anhang.



Abb. 3. Verwitterung des Granits: Das „Kahenschloß“ bei der Schlingelbaude. Nordabhang des Riesengebirges. Ostflügel.

Form erraticcher Blöcke, teils stärker zertrümmert und zermahlen, weit in der norddeutschen Tiefebene verbreitet, wo er einen Bestandteil der Mergel, Lehme und Sande bildet. Durch den skandinavischen Eisstrom wurden vornehmlich Granite und andere Urgesteine aus Schweden in das deutsche Flachland geführt. Da Schweden etwa zu 95% aus Urgestein besteht, so mußte bei der Bodenbildung in der norddeutschen Tiefebene die Zersetzung des Granits eine wesentliche Rolle spielen (Abb. 3).

Der Granit setzt sich zur Hauptsache aus Feldspat, Quarz und Glimmer zusammen. Der Quarz besteht aus Kieselsäure (SiO_2), der Kalifeldspat ist ein Kalitonerdesilikat ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$), die Glimmer sind schließlich gleichfalls Tonerdesilikate, an deren Zusammensetzung außer Kieselsäure, Tonerde und Eisen entweder Kalium oder Magnesium Anteil nehmen. Der Quarz ist durch die Atmosphärenteilchen bei gewöhn-

licher Temperatur so gut wie unzerseßbar, während der Feldspat vollkommen und die Glimmer, je nach ihrer Zusammensetzung, mehr oder weniger stark oder auch gar nicht zerlegbar sind. Die Verwitterung der Silikatgesteine, als deren vornehmster Vertreter der Granit zu gelten hat, vollzieht sich nun nicht so einfach, als wir es von den bisher besprochenen, leichter löslichen Gesteinen erfahren haben. Hier vermag das Wasser ganz besonders seine chemische, hydrolisierende Tätigkeit zu entfalten. Das Wasser, das chemisch gesprochen aus Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) entsprechend der Formel H_2O zusammengesetzt ist, ist allerdings nur in geringem Grade in die chemisch wirksamen Hydroxyl- (OH)-Ionen infolge elektrolytischer Dissoziation gespalten und kann sich aus diesem Grunde sowohl als schwache Base wie auch als schwache Säure verhalten und damit wirksam erweisen. Dieser Eigenschaft des Wassers kommt nun für die Verwitterung der Silikate die größte Bedeutung zu, denn bei der Berührung des Wassers mit ihnen tritt infolge der gleichfalls nur sehr gering dissoziierten Kieselsäure eine hydrolytische Spaltung der Silikate ein. So werden auch die aus Alkali-Aluminiumsilikaten bestehenden Feldspate in gleicher Weise hydrolysiert, indem das Alkalisilikat in Kieselsäure, welche kolloidal ausgeschieden wird, und in Kalium- bzw. Natriumhydroxyd zerfällt. Letztere werden durch die stets gegenwärtige Kohlensäure in lösliche Karbonate überführt und ein Teil der Alkalien (d. i. Kalium und Natrium) von den kolloidalen Verwitterungsprodukten aufgenommen. Auch das Aluminiumsilikat erfährt eine Hydrolyse, wodurch kolloidale Tonerde und Kieselsäure entstehen. Schließlich bleibt, als einer weiteren hydrolysierenden Einwirkung des Wassers nicht mehr zugänglich, ein Aluminiumsilikat von der Zusammensetzung $Al_2O_3, 2SiO_2, 2H_2O$, das wir Ton nennen, zurück. Auf diese Weise vollzieht sich der komplizierte Vorgang der Zerlegung des Feldspats, der kein eigentlicher Lösungsprozeß ist, da nur ein Teil der im Feldspat enthaltenen Stoffe gelöst zu werden vermag. Wir können uns an diesem Orte begnügen, darauf hinzuweisen, daß der Verlauf der chemischen Verwitterung aller übrigen Silikate ein ähnlicher ist und somit die Endprodukte gleichfalls ähnliche sein werden. Die Glimmer wie der Feldspat stellen daher die für die Land- und Forstwirtschaft wichtigsten Bestandteile der granitischen Gesteine dar, insofern sie einerseits für die Anwesenheit des wichtigen Bodenbestandteils Ton, andererseits, wie besonders der Glimmer (Magnesia-Eisenglimmer), für das Vorhandensein des von der



Abb. 4. Geschichteter Buntsandstein bei Heidelberg mit Verwitterungsrinde, d. h. Bodenkrume des Waldbodens.

Pflanze aufnehmbaren Kalis in den aus ihnen entstandenen Böden gewährleisteten. Der Quarz der Granite liefert dagegen die sandigen Bestandteile des Bodens.

Wie wichtig die Silikate für die Bodenbildung sind, geht z. B. aus einem Vergleiche der Braunkohlensande mit den aus den quartären Sedimenten der norddeutschen Tiefebene entstandenen Bodenbildungen hervor. Die quartären Bildungen sind dadurch mechanisch aufgearbeitet, daß der große skandinavische Eisstrom das Gestein von seiner ursprünglichen Lagerstätte nach der norddeutschen Ebene transportierte, und es hier — unzerseht — über weite Flächen ausbreitete. Zur Zeit der Braunkohlenbildung (d. h. im Tertiär) waren dagegen ausschließlich chemische Kräfte bei der Bildung des Bodens tätig. Warmes Klima begünstigte die intensive Zerfetzung der Gesteine. Alle Kaliverbindungen wurden aufgelöst, das Kali entführt, und so entstanden Bodenarten, die für die Land- und Forstwirtschaft unbrauchbar sind, weil sie der den Pflanzen notwendigen Nährstoffe und des Tons gänzlich entbehren. Dies gilt besonders für die tertiären Sande und Tone, die andererseits gerade wegen ihrer Kalkarmut und Feinerdigkeit ein gutes Material für Ziegelbrennerei und das Töpfergewerbe darstellen.

Die Umwandlungsvorgänge, die die Tätigkeit der Atmosphärien bei den verschiedenen die Erdrinde zusammensetzenden Gesteinen her-



Abb. 5. Käsegrotte bei Bertrich (Eifel).

Die Verwitterung setzt an der Umgrenzung der Säulen und den horizontalen, die Säulen querenden Platten ein. Die Gesteinstürme nehmen dann die Gestalt von Schweizerkäfen an.

mit einem Magnesiatordesilikat (Augit, Hornblende und Olivin), die vor allem in den jüngeren vulkanischen Gesteinen vorkommen. Die Umwandlung von Kalk- und Kaltnatronfeldspat geht in ähnlicher Weise vor sich wie beim Kalifeldspat mit einem tonigen Endprodukt und der Bildung von kohlensaurem Kalk und Natron. Die Kieselsäure wird bei diesem Umwandlungsprozeß z. T. durch Kohlen-säure ersetzt, ein für die Entwicklung des Klimas unserer Erdrinde sehr wichtiger Faktor.

Den Umwandlungsprozeß der Eisen-Tonerdesilikate und der Eisenmagnesia-Tonerdesilikate kann man an den Serpentinegebieten Mittelschlesiens genau verfolgen. Das Serpentinegestein — ausgezeichnet neben Kieselsäure durch einen hohen Gehalt an Magnesia, daneben Eisen, Wasser, wenig Tonerde und etwas Nickel und Chrom — liefert unter der Einwirkung der Verwitterung zahlreiche nutzbare Stoffe: Magnesit (unter Zufuhr atmosphärischer Kohlen-säure), Asbest, Talk, Eisenerz und Nickelerze (wobei sich der geringe Nickelgehalt mit der Kieselsäure des Serpentin verbindet und anreichert). Der geringe Chromgehalt findet sich stellenweise zu Chromeisenstein angereichert.

Die Entstehung dieser Erze (außer Chrom) infolge oberflächlicher

vorrufen kann, beschränken sich im wesentlichen auf die Umwandlung der wenigen Mineralien, die diese Gesteine zusammensetzen. Im ganzen kommen etwa 12 — 15 gesteinsbildende Mineralien in Frage. Die Umwandlungsvorgänge spielen sich in ganz ähnlicher Art und Weise ab, wie dies bereits beim Kalifeldspat näher besprochen wurde. In erster Linie seien als wichtige gesteinsbildende Mineralien der Kalk und Kaltnatronfeldspat (Oligoklas) genannt, ferner die Verbindungen von Eisen



Abb. 6. Zersetzung des triadischen Eruptivgesteins (Trapp oder Basalt). (Wadesborough. Nordcarolina.)

Verwitterung geht aus ihrer gelartigen Beschaffenheit sowie aus der Verschmälerung der Lagerstätten nach der Tiefe hervor.

Übrigens ist der Serpentin kein ursprüngliches Eruptivgestein, sondern seinerseits durch chemische Umwandlungen aus einem aus Olivin und Augit bestehenden sehr kieselsäurearmen Gestein, dem Peridotit hervorgegangen. Hierbei äußert sich die Serpentinisierung hauptsächlich in der Wasseraufnahme und Umwandlung des Olivins.

2. Bildung des Acker- und Waldbodens.

Wir haben zwar in den vorausgehenden Zeilen der abbauenden Tätigkeit des Wassers gedacht, die sich auf die Gesteinsmassen an der Oberfläche der Erde erstreckt, und hierdurch einen Einblick in den Gang der Gesteinsverwitterung getan; doch ist durch jene Ausführungen der Vorgang der Bodenbildung im eigentlichen Sinne, d. h. die Erstehung und Herausbildung des landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich ge-

1) d. h. des Eisenmagnesia-Tonerdesilikats.

nutzten Bodens noch nicht erläutert worden. Die Zerlegung der Gesteine mit Hilfe des Wassers in unlösliche und lösliche Bestandteile allein führt noch nicht zu dem Gebilde, das man als Boden zu betrachten gewohnt ist. Zur Hervorbringung desselben bedarf es als wesentlich des Einflusses der organischen Lebewelt auf die durch Zersetzung und Zerlegung entstandenen Gesteinstrümmer, denn die Kenntnis vom Wesen des Bodens lehrt uns, daß der Boden als ein mechanisches Gemenge von Gesteins- und Mineraltrümmern, verengt mit einer mehr oder minder großen Menge von organischen, und zwar im zeretzten oder zeretzungsfähigen Zustande befindlichen Bestandteilen aufzufassen ist. Ja, es kann sogar in der Anteilnahme der organischen Bestandteile an der Zusammensetzung des Bodens so weit kommen, daß sie zur Hauptbestandsmasse desselben werden, wie es in den Moor- und Torfböden der Fall ist. Schließlich greift auch noch die schaffende Hand des Menschen in den Werdegang der Ackererde ein, doch wirkt sie zweckbewußt nach dieser oder jener Richtung hin umgestaltend und fördernd.

Die Anteilnahme der Pflanzen am Vorgange der Bodenbildung erweist sich von weit größerer Bedeutung als die der Tierwelt. Letzterer kommt eigentlich nur eine umarbeitende, mechanisch umlagernde Tätigkeit zu, denn die Reste der Tierkörper, die nach dem Ableben der Tiere noch in den Boden gelangen können, werden insolge ihrer besonderen stofflichen Zusammensetzung viel weniger leicht darin erhalten wie die der Pflanzen und tragen daher nur wenig zur Bildung organischer Bodenbestandteile bei. Die vornehmlich stickstoffreichen, eiweißartigen Substanzen des Tierkörpers erfahren eine viel weitgehendere, zum meist zu gasförmigen Endprodukten führende Umwandlung, als die zur Hauptsache stickstoffärmeren, aber rohfaserreichen Verbindungen der Pflanzensubstanz. Diese sind daher weit mehr im Boden anzutreffen, zumal der Boden der Standort der Pflanzen ist. Stellen wir uns die Tatsache vor Augen, daß die Beschaffenheit und Art des Bodens von den jeweilig herrschenden äußeren Kräften, die auf ihn einwirken, abhängig ist, so ergibt sich hieraus ohne weiteres, daß er erstens nur solche Substanzen enthalten kann, die unter jenen Einflüssen eben gerade noch erhaltungsfähig sind, und zweitens, daß bei jeder Änderung dieser äußeren Einflüsse noch eine weitere Umwandlung hervorgerufen wird. Es ergibt sich daraus, daß der Boden nicht ein totes, ruhendes Gebilde darstellt, sondern fortwährenden Umsetzungen ausgesetzt ist,

bis er sich dem Zustande nähert, in dem eine weitere Umwandlung, infolge des Gleichbleibens der äußeren Kräfte, nicht mehr möglich erscheint. Die ganze Tragweite dieses Tatbestandes, des wesentlichsten Faktors des Bodenbildungsprozesses und der Bodenbeschaffenheit, werden wir aber erst in einem späteren Kapitel, dem der Boden-zonen, d. h. der Verteilung der Böden an der Erdoberfläche, zu würdigen verstehen.

Wie sich der bodenbildende Einfluß der Pflanzen- und Tierwelt auf die Gesteinstrümmer in seinen Einzelheiten geltend macht, kann an diesem Orte nicht des näheren verfolgt werden. Es muß genügen darauf hinzuweisen, daß er vielgestaltiger Art ist und daß er einerseits zur Anhäufung der sog. Humusstoffe im Boden führt, andererseits zu einem Abbau der organischen Substanz in lösliche, leicht von den Pflanzen aufnehmbare Verbindungen, namentlich des Stickstoffs, der ganz besonders von Wichtigkeit für die Ernährung der grünen Pflanzen ist. Außerdem wird aber dadurch, daß die Pflanze die Fähigkeit besitzt, vermöge ihrer Wurzeln lösende Einflüsse auszuüben, eine weitere Zerstörung der Gesteinsbruchstücke und eine Herauslösung der in denselben enthaltenen Mineralstoffe, wie z. B. Kali, Phosphorsäure, Kalk, Magnesia und Eisen, je nach der Zusammensetzung derselben angebahnt und somit eine noch stärkere Zerlegung der anorganischen Bestandteile bewirkt. Dabei mag schließlich nicht unerwähnt bleiben, daß auch gewisse Tierarten einen besonderen Einfluß auf die Bodenbildung auszuüben fähig sind, der sich nicht nur im Sinne einer mechanischen Umwandlung bewegt. Nach dem bekannten Vorgange von Ch. Darwin kommt nämlich den Regenwürmern eine solche Tätigkeit zu, indem sie den Erdboden bei seinem Durchgang durch ihren Körper mit einer schleimigen Masse überziehen, die gleichfalls lösend auf die Bodenbestandteile einwirkt und vor allen Dingen die für den tätigen Boden so überaus wichtige Krümelstruktur schafft. Jedoch hüte man sich vor der Annahme, daß nur allein durch die Tätigkeit der Regenwürmer die Krümelung des Bodens erzeugt werden könne. Sie stellt nur einen der vielen Faktoren dar, die sie hervorzubringen imstande sind. Vor einer Überschätzung der Anteilnahme der Regenwürmer an der Bodenbildung muß überhaupt gewarnt werden; gleiches gilt in noch höherem Maße für die Tätigkeit der Termiten und anderer Tiere (z. B. der Maulwürfe, Wühlmäuse usw.). Viel bedeutsamer sind die Wirkungen, die durch die Lebenstätigkeit niederer Pflanzen, namentlich der Bakterien,

Schimmelpilze, Algen, ausgeübt werden. Sie sind es, die vor allen Dingen den Stickstoffhaushalt des Bodens regeln. Als am bekanntesten und am besten erforscht gilt hier das Vermögen der Knöllchenbakterien, den Leguminosen Stickstoff aus der Luft zur Verfügung zu stellen; d. h. hier insofern, als nach dem Abernten der Pflanzen die an Stickstoff reichen Wurzelreste einschließlich der Knöllchen dem Boden zugute kommen, erfährt derselbe eine erwünschte Stickstoffzufuhr. Aber auch sog. frei lebende stickstoffsammlende Bakterien üben dieses Werk aus. Die Anteilnahme der Kleinlebewesen an der Bodenbildung beschränkt sich nicht auf diesen Vorgang, sondern gerade sie sind es, die durch ihre Lebenstätigkeit die Umwandlung der im Boden vorhandenen unlöslichen stickstoffhaltigen wie organischen Stoffe überhaupt übernehmen, indem sie erstere in Ammoniak- und Salpeterstickstoff überführen und damit der Pflanze erst zugänglich machen. Jedoch nicht nur am Kreislauf des Stickstoffes und an der Erzeugung der Humussubstanz nehmen die Mikroorganismen teil, sondern auch die Löslichmachung von Kali und Phosphorsäure, die zur Hauptsache den Gesteinstrümmern entstammen, fällt ihnen bis zu einem gewissen Grade zu. Die organische Substanz selbst beteiligt sich sodann gleichfalls an der Löslichmachung der Mineralbestandteile des Bodens. Hier sind wiederum besonders wichtig diejenigen Einflüsse, die von den Rohhumusablagerungen ausgehen. Der saure, ungefättigte Humus zerlegt die ihm unterlagernden Gesteinstrümmern in weit höherem Maße, als dies von den nicht sauren im Boden zirkulierenden Gewässern geschehen kann, indem die durch ihn hindurchgegangenen mit sauren Humusstoffen beladenen Gewässer zunächst eine Bleichung der unterlagernden Schichten hervorrufen, beruhend darauf, daß sie die Mineralstoffe dieser Schichten nach ihrer Löslichmachung fortführen. Diese gelangen aus der Bleicherdeschicht in tiefere Schichten des Bodens, wo sie unter bestimmten Voraussetzungen wieder zu Ausfällung und Absatz gebracht werden. Dieser Vorgang, der zur Entstehung des bekannten Ortsteins führt, ist bodenkundlich von größter Bedeutung, man bezeichnet ihn heute meist als Podsolierung, indem man nach dem Bildungsvorgang der Böden eines weitausgedehnten Gebietes Rußlands, der sog. Podsolböden, den oben beschriebenen Bodentypus benennt. Saure und nicht saure Bodenlösungen wirken nun aber nicht nur lösend auf die festen Bodenbestandteile, d. h. also nur chemisch ein, sondern auch durch das Gefrieren und Wiederauftauen des im Boden überall befindlichen Wassers und der damit verbundenen Sprengwirkungen werden die chemischen Wirkungen des Wassers energisch unterstützt.

Zwischen den mit gelösten Mineralstoffen beladenen Wässern und einzelnen, und zwar bestimmten, Bodenbestandteilen treten schließlich noch Wechselbeziehungen in der Weise ein, daß Stoffe aus ersteren von letzteren festgehalten werden, wodurch neue Verbindungen von mehr oder minder starker Unlöslichkeit geschaffen werden, die ihrerseits wiederum in Wechselwirkung mit den in der Bodenlösung enthaltenen Verbindungen treten können. Wir sehen also fortwährend einen Umwandelungsvorgang sich vollziehen, der nicht zu einem endgültigen Abschluß zu kommen scheint, und dennoch ist dieses der Fall, denn alle Vorgänge streben dem einen Ziele zu, nämlich der gänzlichen Zerstörung der am Aufbau des Bodens teilnehmenden Substanzen. Der aber in dieser Richtung zu erreichende Grad der Aufbereitung hängt von den jeweiligen äußeren, vor allen Dingen klimatischen Bedingungen ab. Dabei muß noch einer sehr wichtigen Tatsache Erwähnung geschehen, nämlich der, daß die Endprodukte der Verwitterung in ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit einem Zustande ganz besonderer Art zustreben, den der Chemiker den kolloidalen Zustand¹⁾ nennt, und der sich durch ganz besondere Eigenschaften auszeichnet, auf welche hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann. Sie bedingen geradezu das Wesen des Bodens, und mit der Zunahme ihrer Anteilnahme am Aufbau des Bodens wächst seine Fruchtbarkeit, jedoch mit der Einschränkung, daß auch hier ein Übermaß schadet, denn bekanntlich sind die sog. mittleren Bodenarten der landwirtschaftlichen Nutzung am erfolgreichsten zugänglich.

Da es sich in den vorliegenden Erörterungen zur Hauptsache um die Klarstellung der Beziehungen handelt, die zwischen dem Gestein einerseits und dem Endprodukt der Verwitterung, dem Boden, andererseits bestehen, d. h. die rein geologische Seite des Vorganges im Vordergrund des Interesses steht, so soll lediglich von diesem Gesichtspunkt aus jenes Produkt, der Boden, betrachtet werden. Es soll mit anderen Worten kurz gezeigt werden, welche Bodenart aus den verschiedenartigsten Gesteinen (Muttergesteinen) unter den in unseren Breiten herrschenden klimatischen Bedingungen erzeugt wird. Letztere Einschränkung ist insofern unerläßlich, als unter anderen klimatischen Verhältnissen der Verwitterungsverlauf einen wesentlich anderen Gang nimmt und damit das Verwitterungsprodukt ein ganz anderes wird. Aber gerade in unseren Breiten kommt für die Zusammensetzung des Bodens

1) Es sei an Leim und Gallert erinnert.

der Beschaffenheit des Gesteins, aus dem der Boden entsteht, eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Unter diesen Verhältnissen beansprucht natürlicherweise die mineralische Zusammensetzung des Muttergesteins den größten Einfluß auf den Ausfall der Beschaffenheit des Bodens, und es gilt im allgemeinen der Satz, daß an Kieselsäure (Quarz) reiche Gesteine Böden sandigen Charakters, silikatreiche Gesteine oder Tongesteine solche lehmiger Natur hervorbringen. Dieser Satz hat aber nur dort uneingeschränkte Gültigkeit, wo es sich um reine Verwitterungsböden an Ort und Stelle, auf primärer Lagerstätte, wie der Geologe sagt, handelt. Greift die umwälzende Tätigkeit des Wassers in Gestalt von Regen, Verschwemmungen, Überschwemmungen usw. ein, so macht sich eine Sonderung des Bodenmaterials nach Korngröße und Schwere der einzelnen Bestandteile geltend, und es werden Böden von abweichendem Grundcharakter gebildet, indem der Absatz des Materials aus dem Wasser maßgebend für die Beschaffenheit des aus dem Verwitterungsboden gebildeten neuen Bodens (Schwemmboden, Boden auf sekundärer Lagerstätte) wird. Die Bodenbildung wird dann vorwiegend durch physikalische Kräfte bestimmt, und der chemische Charakter des Muttergesteins tritt in den Hintergrund. Für diese Art der vielgestaltigen Bodenbildung liefert im Gegensatz zum Gebirgsland das norddeutsche Tiefland das beste Beispiel. Ähnlich wie das Wasser vermag auch der Wind umgestaltend zu wirken, es sei an die Entstehung und die Zusammensetzung des Lößes erinnert, der bekanntesten äolischen Bildung. (Bd. V.)

Gehen wir von den Eruptivgesteinen als Muttergestein aus, so kann der Granit durch Verwitterung in einen tiefgründigen Lehm oder aber auch flachen, sandigen Grus zerlegt werden, je nachdem mehr chemische oder physikalische Einflüsse bei seinem Aufbereitungsakt zur Herrschaft gelangen. Zudem spielen auch noch andere wichtige Momente, als nur die chemische, d. h. stoffliche Zusammensetzung des Gesteins mit, um die Vielgestaltigkeit des Endverwitterungsprodukts zu bestimmen. Quarzreicher Porphyr führt zu mehr sandigen Böden, während feldspatreicher Porphyr flache, stein- und eisenreiche Tonböden erzeugt. Auch der Trachyt bringt sandige Böden hervor. Die Kaltnatronfeldspat-Gesteine, wie Porphyrit, Diabas, Basalt u. a. m. geben Veranlassung zur Herausbildung meist tiefgründiger, dunkelgefärbter, eisenreicher Tonböden, während die Natrongesteine, z. B. der Phonolith, einen hellen, jedoch gleichfalls schweren Boden erzeugt. Die kristallinen Schiefer

sind dagegen die Urheber von mehr lockeren, leichteren und steinigten Böden, während der Gneis mehr zur Bildung mittlerer, fruchtbarer Böden hinneigt, die allerdings z. T. auch steinig ausfallen können. Bei den geschichteten Gesteinen, den Sedimentgesteinen, tritt die Abhängigkeit der Natur ihrer Verwitterungsböden von der stofflichen Zusammensetzung noch weit deutlicher in Erscheinung. Die Sandsteine liefern Sandböden, deren besondere Natur durch die Art des Bindemittels der Sandsteine bedingt wird. Die Tongesteine bringen schwere Ton- oder Lehmböden hervor, und die Kalk- und Dolomitgesteine liefern z. T. steinreiche, erdarme Böden, z. T. schwere und fruchtbare Böden.

Stellen wir die Faktoren der Bodenbildung schematisch zusammen, so können wir etwa mit F. Wohltmann zur Aufstellung nachstehender fünf Hauptpunkte gelangen, die für die Bodenbildung ausschlaggebend sind. Von allen ist aber der zuletzt aufgeführte Faktor, der Klimafaktor, der wichtigste, wie das folgende Kapitel des näheren dartun wird.

I. Geologische Faktoren.

- a) Natur des Untergrundes. Das Muttergestein, seine Zusammensetzung und seine Struktur;
- b) die daraus sich ergebenden mineralogischen Bestandteile des Bodens und
- c) seine mechanische Zusammensetzung (Humus, Skelett und abschlämmbare Teile in ihrem Prozentverhältnis zueinander, d. h. Lehm-, Ton-, Sand-, Torf- und Moorboden).

II. Physikalische Faktoren.

- a) Wasserkapazität;
- b) Wasserkapillarität;
- c) Porosität (Volumen der Poren);
- d) Kohäsion und Adhäsion (Bindigkeit und Zähigkeit);
- e) Das Erwärmungsvermögen;
- f) Das Wärmeleitungsvermögen.

III. Chemische Faktoren.

Die chemische Zusammensetzung des Bodens in Rücksicht auf die Menge der aufgeschlossenen Pflanzennährstoffe.

IV. Bakteriologische Faktoren.

V. Klimatische Faktoren.

Geographische Lage der Gebiete, Verteilung der Wärmemenge und Niederschläge.

3. Klima und Bodenbildung. (Bodenzonen.)

Die Kräfte, welche die Verwitterung zur Auslösung bringen, sind die Einflüsse des Klimas. Letzteres zeigt aber die größten Verschiedenheiten, und somit kann sich die Verwitterung nicht überall in gleicher Weise wirksam erweisen, sondern entsprechend den klimatischen Verhältnissen verschieden und damit werden auch verschiedenartige Verwitterungsprodukte, also Böden, hervorgehen. Diese an sich sehr einleuchtende Tatsache bedurfte aber doch erst eines längeren Fortschrittes der Wissenschaft vom Boden, um diese Wechselbeziehung zwischen Klima und Boden deutlich zur Erkenntnis zu bringen.

Das Klima wird zur Hauptsache durch Temperatur und Niederschlag bestimmt, beide Faktoren werden damit zum Schöpfer der jeweiligen Bodenbildung eines klimatisch gekennzeichneten Gebietes. Die gemeinsame Entwicklung beider Faktoren gibt Veranlassung zur Herausbildung verschiedener Bodenarten, die durch das jeweilige Vorherrschen des einen oder anderen Faktors einen verschiedenen Grad der Zersetzung bzw. Aufbereitung erhalten. In dieser Beziehung bedeutet der Unterschied niederschlagsarmer und niederschlagsreicher Gebiete die erste klimatisch-bodentundliche Einteilung. Doch allein mit der Menge der Niederschläge ist es nicht getan, als weiterer Faktor tritt die Größe der Verdunstung hinzu, die von der Höhe der Temperatur abhängt. Das Verhältnis von Niederschlag zur Verdunstung ist es, das die Bodenbildung regelt. Wir sprechen demnach vom ariden und vom humiden Gebiet, in diesem übertreffen die Niederschläge die Verdunstung, dagegen bezeichnen wir mit arid ein solches, in welchem mehr verdunsten könnte, als durch die Niederschläge zugeführt wird. Die absolute Menge der Niederschläge ist dabei von untergeordneter Bedeutung, dagegen ausschlaggebend sind diejenigen Faktoren, die die Verdunstung steigern oder verringern. In dem humiden Gebiet fließt das überflüssige Wasser in Gestalt von Flüssen in das Meer ab und nimmt reichliches Material mit sich, so daß das humide Gebiet ein Gebiet der Abtragung ist. Im Gegensatz hierzu wird das aride Gebiet, in Folge des Mangels von fortführenden Gewässern, zum Gebiet der Auflagerung. Diese geologische Tatsache ist bisher wenig gewürdigt und erst neuerdings von H. L. Meyer in das rechte Licht gesetzt worden, durch sie wird die Erhältbarkeit humider und arider Gesteinsbildungen in der Vorzeit bestimmt. Weiter ergibt sich aus diesem Verhältnis, daß die Böden der hu-

miden Gebiete eine weit stärkere Auswaschung und Auslaugung erfahren als diejenigen der ariden Zone, so daß erstere nährstoffarm, letztere reich an solchen sind, da die löslichen Bestandteile durch das Wasser eine Fortschaffung erfahren. Andererseits sind die Humusverbindungen im humiden Gebiet besonders stark an der Aufbereitung und Bodenbildung beteiligt, während ihr Einfluß im ariden Gebiet zurücktritt, schon allein deswegen, weil unter den Bedingungen letzteren Klimas gar nicht die für jene Einflüsse notwendige Vorbedingung der Anwesenheit und Entwicklung einer weitverbreiteten Flora gewährleistet wird. Von diesen Momenten, zu denen sich noch verschiedene andere gesellen, haben wir auszugehen, um die Verteilung der Bodenarten auf der Erdoberfläche nicht nur verfolgen, sondern auch als gesetzmäßige Folgeerscheinung verstehen zu können.

Das Polargebiet, welches sich durch ständige Eisbedeckung, geringe Sonnenbestrahlung und mäßige Niederschlagsmengen auszeichnet, vermag nur eine sehr spärliche Flora hervorzubringen. Nur auf geeigneter Bodenfläche, soweit sie frei von Eis und Schnee ist, siedelt sich eine solche an. Es ist das Gebiet der Tundra, der hochnordischen Steppe. Die Denudation ist eine beträchtliche, da das gefrierende und aufstauende Wasser besonders stark zerstörend wirkt und Schmelzwasser, Gletschereis sowie heftige Stürme sich lebhaft am Transport der verwitterten Gesteinsmassen beteiligen. Die Ablagerungen des Polargebietes sind dementsprechend vorwiegend mechanischer Art, und die chemische Verwitterung tritt zurück, trotzdem das Gebiet ein humides ist. Für die Bildung organischer Ablagerungen sind im Polargebiet sehr günstige Bedingungen geschaffen, daher dort die große Verbreitung von Moor-, Torf- und sonstigen Humusablagerungen.

Das Klima der Tropen steht im größten Gegensatz zu dem der Arktis. Es ist im ganzen einheitlich und durch periodisch wiederkehrenden Wechsel von Trockenheit und Feuchtigkeit gekennzeichnet. Lufttemperatur und Sonnenbestrahlung sind hoch, Niederschläge zu gewissen Zeiten des Jahres hervorragend stark. Die Vegetation erreicht ungeahnte Üppigkeit. Es sind daher für die Aufbereitung des Gesteins die denkbar günstigsten Faktoren gegeben, sie führen zu der sog. Kumulation, d. h. anhäufenden Verwitterung. Die reichlichen Niederschläge der Regenzeit laugen die durch die Verwitterung löslich gemachten Stoffe aus und geben dadurch Veranlassung zur Entstehung nährstoffarmer, ausgelaugter Böden. Die chemische Verwitterung erreicht in



Abb. 7. Denudationschlucht im Granit an der Südküste von Australien (Neptune Island, Jan. 1905). Die Schlucht entspricht einem Grünsteingang im Granit.

den Tropen den höchsten Wirkungsgrad. Es werden von ihr noch Gesteinsbestandteile zur Lösung gebracht, die unter anderen Verhältnissen nicht mehr aufbereitungsfähig erscheinen. Die Zersetzung der reichlich nach dem Vorhandensein der Flora sich bilden könnenden organischen Substanz ist eine so energische, daß es zu einem Absatz derselben oder ihrer Anteilnahme am Aufbau des Bodens nur dort kommt, wo bei hohen Niederschlägen eine starke Durchfeuchtung des Bodens besteht. Hier findet aber dann eine ganz unerwartet hohe Anreicherung von Humus statt.

Zwischen den Polargebieten einerseits und der Tropenzone andererseits liegen die gemäßigten Breiten. Das Klima ist in diesen durch den Wechsel der Jahreszeiten besonders ausgezeichnet. Im einzelnen sind die klimatischen Verhältnisse außerordentlich abhängig von der örtlichen Lage. Im Hochgebirge herrschen namentlich zur Winterszeit ähnliche Bedingungen wie im Polargebiet im Innern der Festländer das Kontinentalklima und an den Küsten maritime Einflüsse. Bei dem großen Klimawechsel sind die Ablagerungen gleichfalls sehr verschieden, zumal die Einflüsse der Vegetation reichlich mit in Erscheinung treten.

Physikalische und chemische Verwitterung halten sich im großen und ganzen das Gleichgewicht, humide Bedingungen herrschen vor, und es kommt die Bedeutung des Muttergesteins für die Ausbildung des Bodens besonders stark zum Ausdruck. Erosionswirkungen kommen als abtragende Kräfte vorwiegend in Betracht.

Das Gebiet der Wüsten, das eine besondere Zone an der Grenze der gemäßigten Zone und des Tropengebietes einnimmt, stellt bodenkundlich ein typisch arides Gebiet dar. (Bd. V.) Regenarmut, Abflußlosigkeit und Vegetationslosigkeit ist das Merkmal der Wüste. Die am Tage wirkende intensive Sonnenbestrahlung, die nachts mit starker Abkühlung wechselt, leitet eine physikalische Verwitterung ein, die ihresgleichen nicht wieder hat. Die chemische Verwitterung tritt infolge des fast gänzlichen Fehlens von Feuchtigkeit völlig in den Hintergrund, und die Vegetationslosigkeit sowie der leichte Zerfall der organischen Substanz unter dem Einfluß der hohen trocknen Wärme verhindert das Zustandekommen irgendwelcher Ablagerungen organischer Art. Die Ablagerungen dieser Zone sind daher fast ausschließlich mechanische Schuttböden, soweit nicht katastrophenartige Regengüsse Veranlassung zur Entstehung flacher Tonbildungen geben und infolge der Abflußlosigkeit und starken Verdunstung chemische Absätze (Salzausscheidungen) auftreten. Die spärliche chemische Verwitterung schreitet hier im Gestein von innen nach außen und alle im Gestein enthaltenen Salze bzw. salzartigen Verbindungen gelangen als Ausblühungen an die Oberfläche. Für die Verfrachtung des Materials gewinnt in der Wüste der Wind in erster Linie Bedeutung, indem er das feinere und leichte Schuttmaterial aus der Wüste in die anliegenden Steppengebiete trägt und dort zum Absatz bringt (Lößbildung). (Bd. V.)

Die unter den verschiedenen Bedingungen des Klimas sich bildenden Bodenarten auf Grund ihres Zustandekommens vom physikalischen und chemischen Standpunkt aus an diesem Orte verfolgen zu wollen, würde den Rahmen dieses Buches weit überschreiten. Wir müssen uns mit einer kurzen Aufzählung der wichtigsten Bodentypen hier begnügen. In den Tropen sind es die Laterite, die extremste Ausbildungsform ausgelaugter Böden, in den Subtropen die Roterden und Gelberden, in den gemäßigten Klimaten die Braunerden, Schwarzerden und Podsolböden, die diesen Vorgängen ihre Entstehung verdanken. Der Laterit und die Roterden sind nicht nur durch ihre rote Färbung und den reichlichen Gehalt an Eisen charakteristisch, sondern namentlich durch

| | Regen- faktor | Boden- gebiete | | Endprodukt der Silikatzersetzung | Wichtige chemische Vorgänge |
|-----------------------|------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| ← Temperatur steigend | 160 | Roh- humus | Pol | Aluminium-Kie- felsäure | Eisen wandert |
| | 100 | Schwarz- erde Braun- erde | Nörd- liche humide Zone | Wasserh. Alum.- Silikat | Eisen wandert nicht |
| | 60 | Gelb- Roterde | | 3.T. Alum.-Hydrat | Entwäss. d. Eisen- Hydrats |
| | 40 | | | | |
| | 0 | Steppen- boden Wüsten- boden Steppen- boden | Nörd- liche aride Zone | Noch nicht zu übersehen | |
| | 40 | Hydrat- erde | | Aluminium- Hydrat | Entwäss. d. Eisen- Hydrats. Kiesel- säure wandert |
| | 60 | Braun- erde | Äquato- riale | | |
| | 100 | | humide Zone | Wasserh. Alum.- Silikat | Eisen wandert nicht |
| | 160 | Schwarz- erde Roh- humus | | Aluminium-Kie- felsäure | Eisen wandert |
| | | | Äquator | | |

die Anwesenheit der Tonerde und des Eisens in der Form freier Oxide, ferner durch das Zurücktreten des Gehaltes an Kieselsäure und durch ihre Armut an Alkalien und Erdalkalien gekennzeichnet. Die chemische Verwitterung hat in ihnen unter Fortschaffung der sonst schwer oder kaum löslichen Kieselsäure aus den Silikaten zur Anhäufung der Oxide der Tonerde und des Eisens geführt. Dabei stellen Laterit, Roterde und Gelberde von diesem Gesichtspunkt aus die Glieder einer Reihe dar. Bei der Bildung der Braunerden kommt der chemische Eingriff und die Wegführung gelöster Bestandteile lange nicht so stark zur Geltung. Als Endprodukte der Braunerdeverwitterung entstehen neben wasserhaltigen Tonerdesilikaten (Ton) gemengte kolloidale Komplexe von Kieselsäure und Tonerde. Infolge der Art des Verwitterungsprozesses gelangt die Beschaffenheit des Muttergesteins besonders zur Geltung, so daß in Mitteleuropa fast einem jeden Gestein eine selbständige Bodenart entspricht. Die Podsolböden, Aschenböden, Grauerden oder Bleicherden zeichnen sich durch ihren geringeren Gehalt an Eisen aus, mit den Braunerden teilen sie die Gegenwart von Ton, aber kaolinartige Verbindungen sowie kolloidal aufquellbare Humusstoffe machen vorwiegend ihre Zusammensetzung aus. Die Salzböden, Steppenböden und der Löß erweisen sich als typisch aride Bodenformen und gelangen nur in Gebieten mit aridem Klima zur Entwicklung. Eine schematische Übersicht der wichtigsten Bodenzone nach dem Vorgange von R. Lang liefert vorstehende von H. E. S. Meyer¹⁾ gegebene Tabelle. Lang²⁾ führte mit Erfolg den Begriff „Regenfaktor“ ein, den er seinem System der Böden zugrunde legte; dieser Wert bedeutet die Regenmenge, die auf 1^o Temperatursteigerung kommt. Hiernach stellt sich die Verteilung der Bodenzone wie die Tabelle S. 24 zeigt.

1) Geologische Rundschau VII (1916), S. 207.

2) R. Lang, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde Bd. V (1915) S. 312.

Zweiter Vortrag.

Landschaftsform im Mittelgebirge und die Wirkung der Abtragung.¹⁾

1. Einleitung.

Die Kennzeichen der Hoch- und der Mittelgebirge beruhen nicht — wie man vermuten könnte — auf den Unterschieden der Meereshöhe, sondern auf der Gestalt der Kämme, Gipfel und Täler. Hochgebirge formen sich durch die Arbeit des Eises, das in der Gestalt fließender Gletscher den Schutt fortträgt, die Talsenken und Bergsofel ausschleift, vor allem aber als Spaltenfrost Karnischen (Abb. 8) ausmeißelt und weiter aufwärts die zugespitzten Kämme, Gratzacken und Gipfel schafft, die das Mittelgebirge nirgends aufweist. (Vgl. Bd. V: Tätigkeit des Eises.)

Das Mittelgebirge dagegen wird von der chemisch auflösenden und taleinschneidenden (erodierenden, S. 30) Tätigkeit des Wassers geformt und in seinem Landschaftscharakter durch den Wald in ganz anderer Weise bestimmt und beherrscht als das über die Baumgrenze emporragende Hochgebirge. Streng genommen würden in den Alpen nur die zentralen, der Schneeregion angehörenden Ketten als Hochgebirge, die bewaldeten Vorberge aber als Mittelgebirge zu gelten haben. Jedoch bedeckte die frühere mächtige Vergletscherung der Eiszeit auch die geringeren Höhen und hinterließ ihre bezeichnenden Formen in Berg und Tal. Hingegen wird uns ein Schlußabschnitt auf die Wirkung der festländischen Abtragung in gemäßigtem, niederschlagsreichem Klima und die Denudation der Wüste hinweisen; ähnliche Wirkungen bringt die Abschleifung der Küstenebenen des Ozeans hervor.

Aber nicht nur innerlich vermögen die Kräfte des Wassers und der Luft die Gesteine umzuwandeln, sondern auch rein äußerlich verleihen sie dem Landschaftsbilde einen besonderen Charakter. Wohlbekannt sind die Landschaftsformen im Gebiete des Granits (Abb. 7), als deren charakteristische Vertreter die Bilder der Schneegruben und des Kammes des Riesengebirges (Abb. 8 und das Titelbild) oder die Roßtrappe im Harz erwähnt sein mögen. Bei allen zeigt sich als charakt-

1) Vgl. den einige wesentliche Teile des Folgenden enthaltenden Aufsatz in „Aus der Natur“ III (1907/8), S. 22.



Abb. 8. Mittelgebirge im Granit. Die Große Schneeegrube mit dem innersten Moränenwall.

teristische Eigentümlichkeit eine plattige Ausbildung des Gesteins. Überall sind die Felsmassen von zahlreichen Klüften und Fugen durchsetzt, als ob das Gebirge hier wohlgeschichtet sei. In den verschiedenen Gebieten ist diese Klüftung verschiedenartig orientiert, sie ist anders in den Schneeegruben als in den Mittagsteinen oder bei der Roßtrappe. Aber sie ist überall vorhanden, und von diesen Klüften aus schreitet die Verwitterung stetig fort. Es werden also ziemlich ähnliche Landschaftsformen in allen diesen Gebieten geschaffen. Allerdings sind die wirksamen Kräfte recht verschieden und besonders spielt die Höhenlage eine Rolle. In den 12—1400 m hoch gelegenen Schneeegruben des Riesengebirges ist bereits der Spaltenfrost die ausschlagende Kraft bei der Bildung der Landschaftsform. Bei der Roßtrappe ist es die in der Tiefe fließende Bode, die durch Unterwühlung steile Wände bildet und so dem Antlitz des Gesteins eine den Schneeegruben ähnliche Form



Abb. 9. Sakkolith. Das Magma durchbricht die Schichtgesteine, zwingt sich zwischen die Gesteinslagen ein, hebt dieselben teilweise. Oben dringen flüssige Massen in die Deckschichten, ein Beweis, daß diese bereits vorher abgelagert waren.

verleiht. Bei den Mittagsteinen und dem Kazenschloß (S. 8) vermag hingegen die chemische Verwitterung gerundete Felsbildungen zu schaffen. Mechanische und andererseits chemische Kräfte erzeugen also verschiedene Landschaftsformen.

Abweichend von der gewöhnlichen Ausbildung der Landschaft in Gebieten des Granits sind die aus dem gleichen Gestein bestehenden Hans-Heiling-Felsen in der Gegend von Karlsbad (Abb. 10). Dieser

Unterschied wird hier durch eine etwas grobkörnige Ausbildung des Granits bedingt. Das Gestein ist hier grobkristallin, so daß die Zerklüftung eine an Sandsteinfelsen (S. 33) erinnernde Struktur bedingt. Es wird ein Landschaftsbild geschaffen, das wir auch in Porphyrgebieten (z. B. im Eggental in Tirol) wiederfinden, weil gerade der Porphyr eine starke Zerklüftung bei mineralogisch ganz gleichartiger Zusammensetzung besitzt. Eine Absonderung des Porphyr in dünnen Platten zeigt der Hochberg bei Waldenburg (Abb. 12) in extremster Form.

2. Landschaftsformen unserer Mittelgebirge.

Die Formbildung der flach ansteigenden Kuppeln der Berge beruht auf der mechanischen und chemischen Verwitterung mit ihrer nivellierenden Abschleifung; die Charakterformen der einzelnen Gesteine zeigen sich in den tiefen eingeschnittenen Tälern der Hauptflüsse. Doch wird in Mitteleuropa die Einförmigkeit der uralten, wellig begrenzten oder flachkuppigen Hochflächen durch aufgesetzte jungvulkanische Massen unterbrochen, so in Zentralfrankreich und Nordböhmen, weniger häufig in Westdeutschland und Niederschlesien.

Die wesentlichste Verschiedenheit zwischen Hoch- und Mittelgebirge besteht in der ungleichen Einwirkung der Denudation. Die Einflüsse, welche der Spaltenfrost, das schnelle Schmelzen des Schnees im Frühjahr und endlich die Tätigkeit der Gletscher auf die Abtragung und Einebnung der Hochgebirge ausüben, sind im Mittelgebirge nicht oder

nur abgeschwächt in Tätigkeit. Auch die Erosion des fließenden Wassers übt in steil aufragenden jugendlichen Gebirgen wie den Alpen und der Tatra andere Wirkungen als in den alten eingeebneten Massen wie in den Sudeten oder in dem Zentralplateau von Frankreich.

Die heutige Form und Oberflächengestalt der Berge des Niederrheins und des Zentralplateaus von Frankreich ist einerseits ein Werk der Verwitterung und der Erosion des fließenden Wassers, andererseits durch jüngere vulkanische Ausbrüche bedingt. Das Wasser arbeitet keineswegs auf die Schaffung vollkommener Ebenen hin, vielmehr wechselt



Abb. 10. Der Hans-Heiling-Felsen im Egertal bei Karlsbad. Pfeilerförmige Absonderung des Karlsbader Granits.

mit der petrographischen Verschiedenheit der oberen Gesteinsschichten auch der Charakter der Landschaft. Bei weitem der größte Teil der Oberfläche wird in Zentralfrankreich von Urgestein, Granit, Gneis und anderen kristallinen Schieferen eingenommen, und wir finden somit in der Auvergne, dem Divarais, dem Morvan die sanftgerundeten, flachkuppelförmigen Berge des Böhmerwaldes, des Erzgebirges und der Sudeten wieder. (Titelbild und Abb. 12.) Nur der Absturz des Granitplateaus macht den Eindruck eines Gebirges, die Hochfläche z. B. der Cevennen ist verhältnismäßig wenig skulpturiert, monoton und oft von dichten Wäldern bedeckt, die in den Hügelländern fehlen.

Das Gegenstück zu dem französischen Zentralplateau bildet im Osten



Abb. 11. Turler-Felsen, St. Goar. Schichtung und Klüftung der rheinischen Grauwade Europas das böhmische Massiv, das eine Reihe verschiedenartiger Landschaftstypen vom Böhmerwald bis zum vulkanischen Nordböhmen und dem Elbsandsteingebirge umschließt.

Der Böhmerwald bietet ein deutliches Beispiel für die in Mittelgebirgen (aber nicht in Hochgebirgen) verbreitete Erscheinung der Konstanz der Gipfelhöhen. In dem uralten Gebirge haben die zerstörenden Kräfte Spaltenfrost, Wind und mannigfaltiger Witterungswechsel, welche die besonderen Hervorragungen am stärksten angreifen und am raschesten erniedrigen, ursprüngliche Unterschiede ausgeglichen. Die Widerstandsfähigkeit der Gesteine schwankt zwischen engen Grenzen. Trotzdem ist eine fast vollkommene Gleichartigkeit des Gesteins, wie der Glimmerschiefer der Tepler Hochfläche, erforderlich, um etwas herzustellen, was einer „Fasfebene“ — peneplaine — ungefähr gleichkommt. Schon die keineswegs bedeutenden Härtegegensätze des Gneises und Granits schließen auch in den tieferen, unvergletschert gebliebenen Zonen des Böhmerwaldes zusammen mit anderen Faktoren diese Oberflächenform vollkommen aus. Da die Bedeutung dieser Fasfebene überschätzt wird, sei hier darauf hingewiesen, daß theoretisch gerade der uralte, gleichartig zusammengesetzte Böhmerwald die beste Vorbedingung für Entstehung einer „peneplaine“ bieten müßte. Die langen für die Ent-

stehung einer „Fastebene“ notwendigen Zeiträume sind ebenso vorhanden wie gleichartig zusammengesetztes Gestein. Trotzdem zeigt der Böhmerwald in seinen anstehenden Felsarten einen deutlichen Wechsel von Berg und Tal, und das Urgebirge hüllt sich in seinen eigenen, lehmigen Schutt, der von dem uralten, tiefgründigen Waldboden der Fichten und Tannen festgehalten wird. Die ruhige Linienführung der Bergformen¹⁾, die düstere Einförmigkeit der Waldbedeckung mit den überwachsenen Felsblöcken, die im tiefen Moder ungezählter Waldgenerationen zu versinken scheinen, die Stille dieser Wälder, denen plätschern-des Wasser und Vogelruf fast gänzlich fehlen, verleihen den Bergen des Böhmerwaldes eine gewisse feierlich ernste Wildheit. Eben auf den ältesten Gesteinen haben sich in Mitteleuropa die ältesten Urwälder erhalten; im 18. Jahrhundert war noch der größte Teil des Böhmerwaldes reine Waldwildnis, und im Jahre 1856 ist hier der letzte Bär erlegt worden. Auch jetzt wird noch ein Stück alten Urwaldes auf dem fürstlich Schwarzenbergischen Revier im Lückenwalde am Kubany im ursprünglichen Zustande geschont.

Im großen und ganzen herrschen im mittleren Deutschland gleichförmige Landschaftsformen, da vielfach dasselbe Gestein — Muschelkalk, Buntsandstein oder Urgebirge — auf weite Strecken vorherrscht. Nur selten finden sich mannigfache Landschaftstypen auf kleinerem Raume vereint. In der alten, gefalteten, paläozoischen Nordhälfte der Grafschaft Glatz lassen sich vom morphologischen Gesichtspunkt aus vier Landschaftstypen unterscheiden (die sich z. T. in das angrenzende Waldenburger Land fortsetzen): 1. Gneis der Eule, 2. Grauwacke und Schiefer verschiedenen Alters, vornehmlich Unterkarbon²⁾, 3. jüngerer Paläozoikum (meist Sandsteine), flach gelagert, 4. Eruptivgesteine des letztgenannten:

1. Der Gneis der Eule bildet infolge gleichförmigen, harten Materials flachkuppige Berge, welche allmählich zu ziemlich bedeutender Höhe ansteigen und mit gemischtem Bestand aus Buchen und Fichten bedeckt sind. An seinem nördlichen Ausgehenden bei Seitendorf und Waldenburg bildet der Gneis infolge des hohen Gehalts an den durch Verwitterung frei werdenden Alkalien einen mit guten Feldern bedeckten Ackerboden.

1) S. E. Sueß, Bau und Bild Österreichs, S. 91.

2) Erklärung der Formationsnamen siehe im Anhang.



Abb. 12. Der Plattensteinbruch im Quarzporphyr des Hochberges bei Gottesberg in Schlefien. Auffallend regelmäßige und dünnplattige Absonderung des Porphyrs.

2. Die gefalteten alten Grauwacken und Schiefer verschiedenen Alters gehören vornehmlich dem Unterkarbon an und bilden unregelmäßige Hügel und Berge, infolge der verschiedenartigen Verwitterung ihrer Bestandteile: Grauwacke, Schiefer und Konglomerate. Die aus quarzreichen Schiefeln bestehenden Berge erreichen eine ähnliche Höhe wie die des Gneises, zeigen aber steilere Formen und häufige, tiefe Taleinschnitte. Die Grauwacke dagegen bildet infolge ihrer gleichmäßigen Verwitterung sanft ansteigende Hügel.

3. Das jüngere Paläozoikum (Rotliegendes und Oberkarbon) bildet langgestreckte, flache Höhenzüge von roter, dunkler oder weißer Färbung, die mit Getreidefeldern bedeckt sind.

4. Die Eruptivgesteine (Quarzporphyr oder Melaphyr), z. B. am Hochwald, Hochberg (Abb. 12) und dem Königswalder Spitzberg, bilden aufstrebende Bergeshäupter mit den steilsten Böschungen, die in diesen Gebirgen vorkommen.

Über die im südlichen Teile der Grafschaft Glatz auftretenden Gesteine (Gneis, Glimmerschiefer und Rotliegendes) gilt das bereits Gesagte; nur wäre hervorzuheben, daß der Rand des Urgebirges infolge des ausgesprochenen Bruchcharakters sehr scharf hervor-



Abb. 13. Die Adersbacher Felsen. Verwitterungsformen des Quadersandsteins bei undeutlicher Schichtung. Man beachte die Ähnlichkeit mit den Klüftungsformen des Granits des Hans-Heiling-Felsens, Abb. 10.

tritt. Die alten Schiefer der südlichen und östlichen Grafschaft bilden flache Höhenzüge von wenig ausgeprägtem Charakter. Dagegen treten im Süden zwei Landschaftstypen auf: die Lehmfelder mit ihrem vorzüglichen Weizenboden und bastionsartige, am Rande oft phantastisch verwitterte Hochflächen des Quadersandsteins der Kreideformation, die in das angrenzende Braunauer Ländchen fortsetzen. (Abb. 2 und 13.)

Kaum ein zweites Formationsglied — nicht einmal der Granit — besitzt eine so ausgeprägte Eigenart wie die Sandsteine und Mergelkalke (Pläner) der Kreide; kaum bei einem zweiten lassen sich die in den Sandsteingebieten oft höchst bizarren Felsbildungen so klar von der Natur der Gesteine ableiten. Wohl besteht ein allgemeiner Gegensatz zwischen den höhergelegenen Kreidegebieten der Sächsisch-Böhmischen Schweiz, den Adersbach-Weßelsdorfer Bergen und der fargförmigen Heuscheuer im Vergleich zu den Terrassenflächen der mergeligkalkigen „Pläner“; aber im ganzen gehören beide zusammen und gehorchen einheitlichen Bildungsgesetzen. Die Formenbildung des Quadersandsteins beruht auf mechanischer, von außen vorschreitender Verwitterung sowie auf der Tätigkeit der auf den Klüften und Schichtflächen zirkulierenden Wässer. (Abb. 2 und 13.)

3. Wald und Mittelgebirge.

Im Gegensatz zu den über der Baumgrenze beginnenden Landschaftsformen der Hochgebirge wird der Charakter der Mittelgebirge vor allem durch die Vegetation beeinflusst. Laubwald, gemischter Bestand oder Nadelwald, Kahlschlag mit Schonungen oder Plänterbestand sind — wie kaum näher begründet zu werden braucht — für den landschaftlichen Eindruck viel wesentlicher als die Beschaffenheit der unterliegenden Gesteine. Wichtiger ist die Frage nach dem Alter der Gebirge. Von den alten Mittelgebirgen, zu denen außer dem Jura alle wirklichen Bergländer Mitteldeutschlands und Zentralfrankreich gehören, sind im Laufe der unendlich langen Zeit die weichen Schichten zum größten Teil entfernt und nur die härteren, widerstandsfähigen Massen als Härtlinge übrig geblieben. In den jüngeren nördlichen Zonen der Karpathen und in den Apenninen können wir den Zerstörungsprozeß beobachten, den die weichen Sandsteine, Mergel und Tone unter dem Einfluß der Erosion sowie der abwechselnden Durchfeuchtung und Austrocknung durchmachen. (Abb. 14.)

Der Charakter der Sandsteinzone der Karpathen ist durchaus abweichend von dem der Sudeten, trotzdem beide fast dem gleichen klimatischen und pflanzlichen Entwicklungsgebiet angehören. Noch größer ist der Gegensatz zwischen den jungen Mittelgebirgen Griechenlands und Italiens, die im Verlauf ihrer Kämme noch den inneren Bau deutlich erkennen lassen, einerseits und den alten erniedrigten und denudierten Gebirgsrümpfen Mittel- und Nordeuropas andererseits. Die jungen aus Ton und eingelagertem Kalk bestehenden Ketten der Apenninen und Südfrankreichs sind durch die bedeutende Entwicklung der Erdrutsche und Schlammströme, der sogenannten „Frane¹⁾“ gekennzeichnet, die ein Beweis für die energische Abtragung eines jungen Gebirges sind.

Während in Mitteleuropa Bergschlipse zu den Ausnahmen gehören und in den selten beobachteten Fällen meist durch Bahnbau oder Tongrubenbetrieb (Bd. III) verursacht sind, gehören sie im Apennin zu den charakteristischen Oberflächenformen und bilden überall eine Landplage. Klimatisch wird das Auftreten der „Frane“ durch die feuchten Win-

1) G. Braun, Morphologie des nordwestlichen Apennin. Berliner Zeitschr. f. Erdkunde 1907, S. 30.



Abb. 14. Gegend von La Mothe-Chalançon (Drôme). Typische Landschaft des Dnas. Oxfordmergel. Entwaldung, Muren und allseitige Erosion durch Bachrisse (Racheln).

ter und trockenen Sommer, geologisch durch den häufigen Wechsel von Ton mit Kalk- oder Sandsteinlagen begünstigt oder herbeigeführt.

Es sind besonders die aus dem sogenannten Scherbenton zusammengesetzten Bergzüge, in denen infolge der Durchfeuchtung im Winter Schlammströme, infolge des Austrocknens, Abbröckelns und der Spaltenbildung im Sommer steile Abstürze entstehen. Der Scherbenton ist ein toniges Gestein, das in trockenem Zustande aus kleinen Schuppen oder Scherben besteht, deren gekrümmte Oberfläche durch mechanische Verschiebung hervorgerufen und daher glänzend poliert ist.

Die Gleiterscheinungen des Scherbentons erinnern an das „Kriechen“ des Gehängeschutts in ähnlich zusammengesetzten Waldgebieten Mitteleuropas — an den Wiener Wald (nach Gözinger) oder die karpathische Sandsteinzone —, bilden aber eine stark vergrößerte Ausbildung dieser geringfügigen Bewegungen. Äußerlich ähnelt ein solcher Schlammstrom einem Gletscher; das Abrißgebiet entspricht der Firnmulde, das Ablagerungsgebiet der Gletscherzunge und ist wie diese von Spalten durchsetzt und mit Blöcken bepackt. (Bd. VI.)

Der Tonreichtum des Gesteins ist so groß, daß bei Regen keine Erosionsrinnen, sondern eine allgemeine Durchfeuchtung bedingt wird.

Tritt ein besonders starker Regenguß hinzu, so reißt an einer Spalte die ganze Masse ab, rutscht und überschüttet den Talboden mit einem flach geneigten Schuttkegel. Arbeitet dann im Tale die Erosion des Flusses weiter, so wird zunächst der Schuttkegel durchschnitten und dann die obere Abrißstelle erneut in Bewegung gesetzt.

In ungewöhnlichem Maße hat in allen südeuropäischen Halbinseln — vor allem aber in Italien — der Mensch den Charakter der Landschaft beeinflusst, indem er die heimische Pflanzenwelt ausgerottet und zurückgedrängt und einen Ersatz aus fernen Landen, vor allem aus dem Orient und Amerika, eingeführt hat. Ein deutscher Urwald und ein wohlgepflegter moderner Forst stehen auch in gewissem Gegensatz, aber es sind schießlich die einheimischen Pflanzen, welche in Pflege und Zucht genommen sind. Anders in Südfrankreich und Italien, wo eine sinnlose Waldverwüstung die Abhänge kahl geschlagen hat, wo andererseits das Bestreben, ertragreiche oder schöne und interessante Fremdlinge heimisch zu machen, den Charakter der Vegetation und damit der Landschaft von Grund aus umzugestalten vermochte: Das Bild des Landes,

„wo die Zitronen blühen,
im dunklen Laub die Goldorangen glühen“,

wird in unserer Vorstellung durch diese Bäume beherrscht, die erst im späten Altertum aus dem Orient eingeführt wurden. Ebenso stammen Ölbaum, Dattelpalme und wahrscheinlich die Feige aus Vorderasien, die Zypresse, der Charakterbaum der Berghänge Italiens, von den griechischen Inseln und Nordpersien, der Eukalyptus, der zuletzt eingeführte, in den sumpfigen Niederungen Mittelitaliens schon weit verbreitete Baum, aus Australien.

Wenn Preller im Vordergrund seiner Odysseelandschaften die Agaven und Opuntien, d. h. die erst am Beginn der Neuzeit aus Mexiko eingeführten Gäste zeichnet, so ahmt er die Maler nach, welche Christus und seine Apostel im Gewande der italienischen Renaissance auftreten lassen. Und trotzdem handelt er unseren Vorstellungen nicht zuwider. Die Agave ist dem Europäer, der sie zum erstenmal auf den Felsgipfeln der Sierren oder angepflanzt auf den weiten Hochflächen Mexikos erblickt, ein fremdartiges Gebilde, auf den Kalkfelsen Capris oder der Riviera dagegen eine selbstverständliche Staflage. Nur die Buschwaldungen der Macchie mit ihren würzig duftenden Sträuchern, Lavendel, Rosmarin, Myrthe und Lorbeer sind

ursprünglich in Italien heimisch; von Waldbäumen des Altertums sind nur die Steineiche (Robur), die Pappel und vor allem die Pinie hier und da in größeren Beständen auf der Apenninen-Halbinsel anzutreffen. (Abb. 64 S. 135.)

Die Verkarstung, die Ausdehnung der Wildbäche und der Frane bedingen eine nicht wieder gutzumachende Verwüstung, da der mediterrane Wald ein Erbteil der quartären Pluvialperiode ist und sich in den gegenwärtigen langen und heißen Sommern nicht von selbst erneuert.

4. Mittelgebirge mit ehemaliger Vergletscherung bilden den Übergang zum Hochgebirge.

Den Ausgangspunkt unserer Betrachtung und den Typus der Mittelgebirge bilden die Bergländer des mittleren und westlichen Teiles von Europa, während im Süden des Erdteiles Verwitterung, Abtragung und abweichende Vegetation anders geartete Landschaftsbilder hervorbringen. Die Mittelgebirge Mitteleuropas ragen nirgends in die Schneegrenze empor und ermangeln daher der Gletscher. Auch die Eiszeit hat nur einzelne Berge wie Brocken und Inselsberg in Thüringen oder die Majella und den Gran Sasso d'Italia mit wenig ausgedehnten Gletscherbildungen bedeckt. Selbst dort, wo, wie im Wasgau, Schwarzwald oder Riesengebirge, etwas ansehnlichere Vergletscherung herrschte, hat der Formenschatz des Eises nur einzelne prachtvolle Musterbeispiele wie die Moränen-Stauseen der Vogesen oder die Schneegruben des Riesengebirges (Abb. 8, S. 27) hinterlassen.

Die Hauptformen der Landschaft standen schon vor der Eiszeit fest, und die Veränderungen, die diese Episode hinterließ, sind vielfach schon wieder der Verwitterung zum Opfer gefallen. Nur eine in ihrer Art großartige Ausnahme, ein Gebirge mit rein alpinen Formen, aber ohne Spur heutiger Gletscher, ist in dem Granitmassiv der hohen Tatra erhalten geblieben.

Unterhalb der Zone der quartären Vergletscherung bilden auch die Karpathengranite nur flache, gerundete Kuppen. Einer gigantischen Feste gleich erhebt sich aus dem flachen, alttertiären Acker- und Weideland der galizischen Podhala und des Siptauer Kessels unmittelbar aufstarrend der wilde Felskamm der Tatra. Alles Gebirge im Norden, Süden und Osten der Tatra ist meilenweit niedergebroschen, wie wenn es gelte, die Perle der Karpathen recht zur Schau zu stellen,

Der Gegensatz zwischen Niederung und Gebirge ruft an der Südseite einen überwältigenden Eindruck hervor, weil hier die Granitmasse des Zentralkerns in einer Flucht zu den beherrschenden Gipfeln emporsteigt, die an der hohen Tatra nicht am Hauptkamm, sondern — wie auch häufig in den Alpen — an kurzen südlichen Querkämmen liegen. Auch die Randberge der Nordseite erheben sich ziemlich unvermittelt, behindern aber als vorgelagerte Kalkzone den unmittelbaren Blick auf den Hauptkamm. Dafür entschädigen sie durch die besonderen Schönheiten des Ketten- und Dolomitengebirges.

In dem hochtatratischen (durch ununterbrochene Sedimentbildung während des Mesozoikums ausgezeichneten) Gebiete ist das Aussehen der vorwiegend aus Kalk und Dolomit bestehenden Kalkketten durchaus alpin. Die Beler Kalkalpen erinnern durchaus an die nordtiroler oder die westlichen bairischen Saltenketten.

Wie die Tatra¹⁾ auf dem engen Raum von 52 km Länge und 15 km Breite eine Fülle interessanter geologischer Erscheinungen zeigt, so vereinigt sie auch in landschaftlicher Hinsicht einen seltenen Reichtum an feinen und zugleich wilden Gebirgsformen. Gerade das Modellartige der Tatra bildet einen besonderen Reiz, der noch eine Steigerung durch das rauhe Klima erfährt, das die Vegetationsgürtel des Hochgebirges tiefer als z. B. in den Alpen herabrückt. Bei soviel Schönheit und Eigenart entbehrt die Tatra der Erhabenheit des ewigen Schnees und der Eisströme. Höhe und Niederschlagsmenge reichen nur zur Entwicklung von Schneeflecken, die auch nur in geschützter Lage und kalten Jahren den Hochsommer überdauern. Um so ausgedehnter war die quartäre Vergletscherung. Ein Eisring von 4,5 km Breite umgürtete den Südfuß der hohen Tatra und ist jetzt durch einen gewaltigen, von herrlichen Nadelwäldern überzogenen Blockwall mit einzelnen prächtigen Moränen-Amphitheatern und dem Moränensee von Tšorba bezeichnet. Am Nordabhang der Tatra floß das Eis in wohlgeschiedenen Strömen die Quertäler entlang und quoll nun aus den Haupttälern des Javorinka-, Bialka-, und Suchawodatals mit fächerförmigen Zungen auf das eocäne Vorland heraus. In der westlichen Tatra erreicht die bescheidene Vergletscherung inmitten des Hochgebirges ihr Ende.

1) Aus Uhlig, Bau und Bild Österreichs III: Die Karpathen, ist die obige Darstellung entnommen.

5. über Rumpfflächen (peneplaines).

S. von Richthofen hat in einem hinterlassenen Werke¹⁾ auf die Notwendigkeit der Untersuchung der Rumpfflächen und der Frage ihrer Entstehung durch Abrasion der Brandungswellen oder durch kontinentale Denudation (Verwitterung und Erosion) hingewiesen. Bei der Betrachtung typischer Landschaften zeigen die Wüsten- und Steppengebiete am deutlichsten die Entwicklung der Rumpfflächen, weil keinerlei Vegetation die Aufschlüsse des Gesteins verdeckt:



Abb. 15. Zeugenberg in der Wüste der Halbinsel Arabiens und Bildung einer Rumpffläche (im Vordergrund).

1. Die Rumpfflächen am Fuße der arabischen Zeugenberge entsprechen einer echten Wüste. (Abb. 15.)

2. Die Rumpffläche in den aus weichen jüngeren Gesteinen bestehenden Bad Lands von Utah und den aufgerichteten roten harten Sandsteinen bei Manitou Springs im Staate Colorado ist ein Steppengebiet. (Abb. 16 u. 17.)

3. Die Rumpffläche der südlichen Ketten des algerischen Atlas (bei Bresina) ist nach Passarge ein niedergeschliffenes junges Saltengebirge und zeigt die abtragende und abschleifende Wirkung der Wüsten-Denudation besonders scharf und deutlich. Die drei Abbildungen zeigen, daß Wüsten und Halbwüsten, d. h. Gebiete ohne regelmäßige Talssysteme und ohne Abfluß nach dem Meere die besten Vorbedingungen für die Entstehung von Rumpfflächen bieten.

1) Geologie in Neumann, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen. 3. Aufl.



Abb. 16. Die Riesenkeulen (Giant Clubs) am Green River. Zeugen inmitten einer Rumpffläche. Erosionsformen der Bad Lands, entstanden durch plötzliche, heftige Regengüsse und trockene Wüstenverwitterung. Aus den Steppengebieten der Plateauregion von Utah.

Den Beobachtungen, welche uns die Entstehung von Rumpfflächen in Wüsten und Halbwüsten lehren, würde die Vermutung entgegenstehen, daß der Wüstenwind die steil eingeschnittenen Furchen der Wadis ausgeblasen habe. Doch herrschte früher in der Sahara ein feuchtes Klima, unter dessen Herrschaft die Wadis ebenso wie die Cañons des amerikanischen Westens erodiert wurden. Nur die heutige Form des Abschlusses der Wadis rührt von der Tätigkeit der Wüstenwinde her. Auch in Gebieten mit regelmäßigem Jahresniederschlag ist die Bildung einer Fastebene in geringer Höhe über dem Meere denkbar. Aber hier wird — abgesehen von Gebirgsbewegungen — auch jede Änderung des Meeresniveaus eine Umgestaltung der Abflußbedingungen und damit eine Durchschneidung der entstehenden Rumpffläche bedingen. Die Wahrscheinlichkeit einer allgemein fortschreitenden Einebnung der Höhen ist also in der Wüste größer als in niederschlagsreichem Klima. Dazu kommt überall die Möglichkeit, daß etwa vorhandene Fastebenen gar nicht durch die denudierenden Kräfte des Festlandes, sondern viel-

mehr durch eine frühere Meeresüberflutung bedingt wurden, deren Sedimente bereits wieder entfernt worden sind.

So kommen für die Herstellung der Rumpffläche des Rheinischen

Schiefergebirges zwei Meeresbedeckungen in Betracht, zunächst die Bedeckung des triadischen Binnenmeeres und dann die ozeanische Transgression der oberen Kreide.¹⁾ Den Nordabhang des linksrheinischen Gebirges in der Gegend von Commern und dann im Westen bei Trier und in Lothringen bilden Buntsandstein und Muschelfalk, die einst mit den mitteldeutschen zusammengehängen haben. Ablagerungen der Trias bedeckten also einst das ganze rheinische Gebirge. Ebenso findet man rechts vom Rhein, z. B. bei Brilon im Sauerland, auf der Höhe der alten Rumpffläche Sandsteingerölle, die sonst an der Basis der oberen Kreide bei Essen auftreten und ebenfalls eine allgemeine zweite Abschleifung und Überdeckung des alten Gebirges erweisen. Eine annähernd vollkommene Ebene, d. h. eine ganz flach nordwärts geneigte, die alten Gebirge bis zur Steinkohlenformation ein-



Abb. 17. Nadelfelsen (Needle Rock). Eigentümlicher Zeugenfels. Windgeschliffene Verwitterungsform des steil aufgerichteten roten Sandstein (Trias). Monumentpark bei Manitou Springs (Colorado.)

1) Für die Namen der geologischen Perioden vgl. den Anhang.



Abb. 19. Die Teufelsberge (Sierra del Diablo), Texas. Kalf (K) im Sandstein (S).
Im Vordergrund die durch die Wüstenverwitterung gebildete Rumpffläche.

in einem 75 km langen bis 12 km breiten Streifen im Odenwald, aus denen die dnadische Abtragungsfäche am Ausgang des Rotliegenden wiederhergestellt wurde. Alle Tages- und Grubenausschlüsse sowie die bekannte Mächtigkeit der Deckschichten wurden in Betracht gezogen. Es ergab sich das Bild einer uralten Abtragungsfäche, wie sie übereinstimmend z. B. bei der von Fillunger entworfenen, von mir in der Schlesischen Landeskunde Taf. XVIII reproduzierten prämiocänen Oberfläche des Steinkohlengebirges bei Ostrau erzielt worden ist. Beide Abtragungsfächen können keineswegs als Fastebene (peneplain) bezeichnet werden. So findet sich nordöstlich von Heidelberg ein Höhenunterschied von über 500 m auf nur 9 km Entfernung. In Oberschlesien ist die Steinkohlenoberfläche von Tälern zerfurcht, die bis 1 km tief sind.

Die dnadische Abtragungsfäche im Odenwald, eine zeitlich und örtlich sicher rekonstruierbare alte Landoberfläche, war ein flachwelliges Bergland etwa vom Typus der niedrigeren Teile unserer Mittelgebirge. In den kleinen Formen ist sie sehr unruhig, aber die großen Formen haben durchweg sanften Charakter. Die Oberfläche war eine Landschaft, nicht etwa eine marine Abrasionsebene. Auch die Kammfläche des Riesengebirges, die niemals eine zusammenhängende Eisdecke trug (Bd. VI), ist eine gehobene kontinentale Fastebene der frühtertiären Zeit.

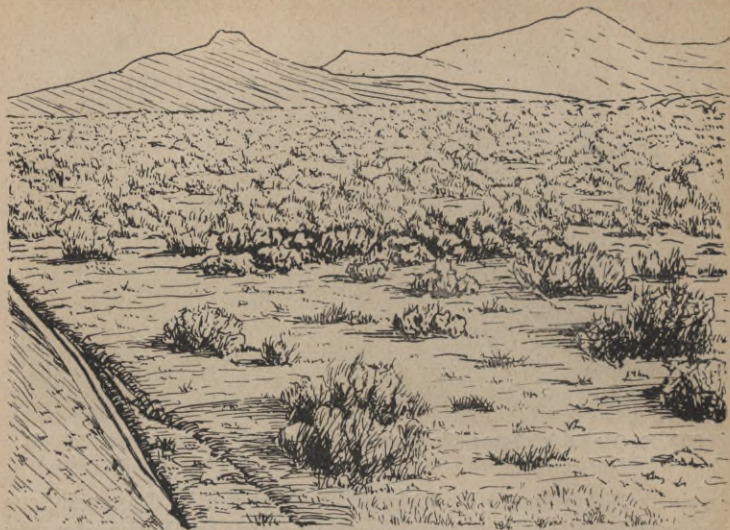


Abb. 20. Die Karroo-Steppe in Südafrika. Eine Rumpffläche als das Produkt der äolischen Abtragung. Im Hintergrunde die aus widerstandsfähigem Gestein (Diabas) bestehenden Zeugenberge, welche der Abschleifung widerstehen.

Jungpaläozoische Abtragungsflächen liegen in anderen deutschen Mittelgebirgen ähnlich wie im Odenwald. So ist im Schwarzwald die Grenze Rotliegendes — Buntsandstein wesentlich ebener als die Auflagerungsfläche des Rotliegendes. Die Verebnung des alten Gebirges hat also, teils durch Abtragung der Höhen, teils durch Zuschüttung der Mulden, bis zur Buntsandsteinzeit Fortschritte gemacht. Die zur Karbonzeit einsetzende subaërische Nivellierung des alten Gebirges war somit zu Beginn der Trias noch nicht einmal bis zur Ausbildung einer wirklichen Festebene gediehen. Diese Feststellung gibt eine Handhabe zur Kritik von Übertreibungen der Davis'schen Lehre, insbesondere der Annahme einer mehrmaligen Einebnung der Alpen allein im jüngeren Tertiär und Diluvium.

Für die rein festländische Abtragung sind die hier zusammengestellten Bilder aus Südafrika und Nordamerika besonders bezeichnend: Die flache Karroo-Steppe geht bis unmittelbar an den Fuß der aufsteigenden Insel- (oder Zeugen-) Berge heran. Die aus widerstandsfähigem Eruptivgestein (Karoo-Diabas) bestehenden Erhebungen, die



Abb. 21. Sandstein der Sierra del Diablo (Texas) mit windgeschliffener Säule. Der Vordergrund ist die Sohle eines typischen Trockentales (entsprechend den Wadis).

inselgleich die Rumpffläche überragen, sind bezeichnend für kontinentale Denudation, d. h. für die Abtragung durch den Wind. Der gleichen Erscheinung begegnen wir in Arabien (Abb. 15), in Mittel- und Westaustralien, vor allem im Westen von Nordamerika (Texas, Abb. 10 und 21). In den verschiedensten Erdteilen unterliegen harte und weiche Gesteine von verschiedenster Zusammensetzung der Abtragung in gleicher Weise.

Nur die Bildung von Krusten, die aus Kochsalz, kohlensaurem Natron, Kalk, Brauneisenstein oder Kieselsäure bestehen, leistet in Wüsten und Halbwüsten der Abtragung erfolgreichen Widerstand. Diese durch chemische Tätigkeit gebildeten Überzüge schützen die Unterlagen vor Abtragung durch den Wind und erklären nach Passarge die Widersprüche, die sich in der Literatur über die Wirkung der festländischen Denudation finden. Nur dort, wo eine Aufblätterung des Gesteins infolge des Gegensatzes von Hitze und Kälte sowie eine direkte Abtragung der gelockerten Oberfläche möglich ist, erfolgt energische Abtragung auf dem Festlande, die Krustenbildung dagegen wirkt schützend.

Ergebnisse.

1. Verwitterung durch vollkommene (Gips) oder teilweise Auflösung oder durch chemische Zersetzung (Granit) bildet das formgebende Element in dem Mittelgebirge.

2. Erosion der Flüsse zerlegt und erniedrigt die durch Rumpfflächen begrenzten älteren Massen; eine vollständige Abtragung durch fließende Wasser ist nur nach gewaltigen Zeiträumen (Karbon—Jungtertiär in Nordamerika) möglich.

3. In jungen Mittelgebirgen, wie den Nordkarpathen und Apenninen, entsprechen die Ketten noch dem Verlauf der Falten. Die älteren Massen Mitteleuropas stellen die niedergeschliffenen Rumpfe vormaliger Hoch- und Mittelgebirge dar.

4. Vielsach lagern junge Eruptivgebilde wie Kratere und Lavaströme den Mittelgebirgen auf, so im Rheinischen Schiefergebirge, in Zentralfrankreich und Böhmen.

5. Der in Mitteldeutschland gut erhaltene Wald beherrscht das Antlitz der Mittelgebirge; seine Vernichtung führt in den Kalkgebirgen des Südens zur Verkarstung und befördert in Tongesteinen die Bildung bedeutender Erdschlipfe und Schlammströme („Frane“).

6. Ehemals vergletscherte Mittelgebirge wie die Tatra bilden den natürlichen Übergang zu den vorwiegend durch Spaltenfrost und Gletscher geformten Hochgebirgen.

7. Rumpfflächen oder Fastebenen entstehen sowohl durch abradierende Tätigkeit der Brandung eines vorschreitenden Ozeans wie durch Verwitterungsvorgänge (Denudation) auf dem Festlande.

8. In erster Linie bringt jedoch die in den Sandwüsten und Halbwüsten tätige Verwitterung und Abtragung durch Wind die Form der Fastebene hervor. Trockentäler (Wadis) der Wüste deuten auf Wassererosion in einem früheren Regenklima hin (Pluvialperiode): der Wind schafft gleichmäßige Ebenen, keine steilwandigen Einschnitte.

B.

Die Arbeit des Ozeans.

Dritter Vortrag.

Küstenbrandung und Gesteinsbildung auf dem Grunde des Weltmeeres.**A. Brandung, Küstenbildung, Strandterrassen.**

Seit Jahrtausenden rauschen die Wogen des Ozeans ihre alte Melodie, und die Brandung der Wellen an der Küste versinnbildlicht dem Beobachter die Anhäufung zahlloser kleiner Einzelwirkungen zu Arbeitsleistungen von gewaltiger Größe. Der unendliche Horizont des Weltmeeres bildet ein Gleichnis der unsere Vorstellungskraft weit übersteigenden Länge geologischer Zeitläufte und die Tiefe des Ozeans ein Abbild der zahllosen ungelösten Fragen, die des Forschers harren. Im Meere verknüpft sich untrennbar die Tätigkeit der Zerstörung mit der Neubildung, die Arbeit der Brandung mit der Wiederablagerung der aufbereiteten Masse auf dem Meeresgrunde und ihre Mengung mit den Resten der Organismen.

Die Brandungsküste enthüllt dem Geologen die Charakterformen der Gesteine in einer Deutlichkeit und Schärfe, wie sie kaum die Steilwände des Hochgebirges oder die Cañons des amerikanischen Westens zeigen¹⁾; gleichzeitig geben die schwedischen Schären, die eingeschliffenen Strandlinien Norwegens oder die weit über dem heutigen Meerespiegel sichtbaren Terrassen der iberischen Küste (Abb. 31) ein Bild von den Änderungen, die in der letzten Vergangenheit unseres Planeten eingetreten sind.

1. Brandung und Brandungsstrand.

Die Wellen des Ozeans sind nicht an die Oberfläche gebunden, sondern bewegen die gesamten oberen Schichten des Meeres bis zu einer Tiefe, die von der Höhe der Welle abhängt und bei sehr starken Bewegungen bis 200 m hinuntergeht. Prallen solche Wellen auf eine Untiefe auf, so tritt eine Hemmung in der Bewegung der Unterseite

1) Vgl. die Küstenbilder im zweiten Teile des Vortrages und Abb. 58, S. 112.



Abb. 22. Blockstrand und Steilküste von Helgoland.

der Welle ein, deren Folge ein Brechen, d. h. Überstürzen der Oberseite ist. Diese Brandungswellen schneiden Plattformen am Fuße einer Steilküste ein; widerstandsfähigere Teile der zerstörten Felsen ragen als Klippen über die flach abfallende Ebene empor und bezeichnen die ehemalige Ausdehnung des Abfalles; — ebenso wie die Zeugenberge der Wüste der durch festländische Abtragung geschaffenen Kumpffläche aufsitzen. (Vgl. Abb. 22 und 23 mit Abb. 15 und 20.)

Verschieden von dem Brechen der Wellen ist das Emporspritzen der Wogen, eine Brandungserrscheinung, die durch ein in tiefem Wasser befindliches Hindernis, etwa ein isoliertes Riff oder einen Leuchtturm, verursacht wird. Die Bewegung der horizontal auf ein Hindernis auftreffenden Kräfte der Wogen wird zum Teil in eine vertikale Bewegungskomponente umgesezt, und diese verursacht ein hohes Aufspritzen des Wassers. So kommen an steil abfallenden Felsen wie dem Bell Rock in Schottland Spritzwellen bis zu 34 m Höhe vor.



Abb. 23. Helgoland. Die durch die Brandung geschaffene Terrasse nahe dem Fuße des aus Buntsandstein und Zechsteinletten bestehenden Kliffs. Die Oberfläche des Kliffs entspricht einer früheren Terrasse. Die Schichten des Rotliegenden und Buntsandsteins fallen flach nach links ein. Die abgechnittenen Schichtenden (Schichtentöpfe) der Brandungsterrasse sind bei Ebbe sichtbar.

Die auftreffende Kraft des Wassers wird in Arbeit umgesetzt, die sich im Unterwühlen und Zertrümmern der Kliffs oder Steilküsten äußert. Das Wasser wird in die feinen Spalten und senkrechten Klüfte gepreßt und wirkt durch Druck lockernd auf die Seitenwände. In den tiefer liegenden Gesteinspalten wird die eingeschlossene Luft komprimiert und erschüttert dadurch die Festigkeit der Felsen. Die Brandungswelle arbeitet zunächst eine Hohlkehle aus, unterwühlt so das darüberlagernde Gestein und veranlaßt sein Nachstürzen. So sind aus den Kalken der Küste von Korfu am Achilleion pilzartige Gebilde (Abb. 24) herausgearbeitet worden, indem die Brandung unter einern härteren Decklage die weichere Unterschicht herausnagte; die Karrenformen der Oberfläche des Kalkes gehen auf die chemische Auflösung zurück, welche die Spritzwellen ausge-



Abb. 24. Abgestürzter Kreidekalkblock unterhalb des Achilleion (Korfu) als Pilzfelsen durch die Brandung umgestaltet.

führt haben. Scharfkantige, den Karren des Karstplateaus vergleichbare Zeretzungsformen der Küstenkalke habe ich an der dalmatinischen Küste in großer Ausdehnung beobachtet.

als Angriffswaffe gegen den Felsenstrand (Küste des Baffins-Landes).

Die von den Steilküsten durch die Brandung herabstürzenden Gesteinsblöcke wirken zunächst schützend, d. h. als Wogenbrecher. So hat man an dem Shakespeare-Kliff bei Dover den oberen Teil als Schutzwall gegen die Wellen losgesprengt. Wo der Geschiebemergel der norddeutschen Küste mächtige Irrblöcke enthält, können diese auch in losen Zustand das Kliff gegen die Zerstörung durch Sturmfluten schützen — soweit sie nicht von Menschen als wertvolles Baumaterial fortgeführt wurden. (Abb. 27.) Mit der Zeit wird dieser Wall zernagt, und dann werden die aus den ehemaligen Gesteinsmassen geformten Rollsteine gegen die Küste geschleudert und verstärken ihrerseits die Wirkung der Brandung. Das Endergebnis ist stets eine seewärts sanft geneigte Plattform, während die Bildung der Hohlkehle von der Härte der überlagernden Gesteine abhängt. (Abb. 28.)

Die Tätigkeit der vom Winde bewegten Wellen wird durch Ebbe und Flut gefördert und erhöht. Der Ebbestrom führt die in der Brandung aufbereiteten Bestandteile dem Meere zu, während die Flutwelle die Küste angreift. Die Tätigkeit von Ebbe und Flut ist schon wegen ihrer regelmäßigen Wirkung nicht zu unterschätzen, trotzdem der Niveauunterschied der Tiden im



Abb. 25. Strandlinien auf Berghatten (von Norden).

offenen Ozean nur 0,70 m beträgt. Doch steigert sich dieser Betrag in engen Buch-

ten bis auf 14—15 m (Bretagne), ja in der Fundy-Bay auf Neu-
schottland bis auf 21 m; an sol-
chen Küsten ist die lebendige
Kraft der Tiden für Zerstörung
und Transport sehr bedeutend.

Die Ablagerung der Gerölle
und Sande auf dem Brandungs-
strande des Meeres verhält sich
umgekehrt wie in dem Schuttkegel
eines Wildbaches: Während sich
an der Spitze eines Schuttkegels
die groben Gerölle, tiefer unten
die feineren ablagern, finden
sich umgekehrt am Strande der
Meere landeinwärts die größe-
ren Sedimente, die nach der Tiefe
zu den feineren Platz machen.
(Abb. 28.) Die Stoßkraft der
brandenden Wogen trägt die
groben Geschiebe weit landein-
wärts, während der Rückstrom
der Wellen nur imstande ist,
Sandkörner und kleinere Ge-
schiebe zurückzuführen. So nimmt
die Korngröße der Sedimente
des Meeresbodens von der Küste
nach der Tiefe ab, und auch die
ausgeworfenen Tangmassen umsäu-
men das Gestade dort, wo sie die
Kraft der stärkeren Wogen zurück-
gelassen hat. (Abb. 27, 28.)

Die zerstörende Arbeit der Meereswogen wird durch die Tätigkeit
von Organismen fördernd oder hindernd beeinflusst. Die Napfschnecken
(Patella), die sich an der Brandungsküste auf den Felsen festsaugen,
bieten einen geringen Schutz gegen die Wellen; eine ähnliche Wirkung
üben auch die Seepothen (Balanen, zu den Krustazeen gehörend). Größer
ist die zerstörende Tätigkeit der bohrenden Organismen, so
der Bohrspongien und Bohrmuscheln, während die eigentliche Schiffs-
bohrmuschel (*Teredo navalis*) nur im Holze lebt. *Cliona* oder *Vioa*



Abb. 26. Verbreitung alter Brandungs-
terrassen (schwarz) auf der Insel Bömme-
löen.



Abb. 27. Stoltera bei Warnemünde. Rollsteine auf einem Brandungsstrand. (Aus dem Steinpflaster an der Grenze einer Geschiebemergelbank, darunter gebogene Sandeinlagerung.)



Abb. 28. Kliffküste bei Wisby, Insel Gotland. Oberjüurkalk von mergeligen Schichten unterlagert. Große Geschiebe und Blöcke, sowie dunkle Tangstreifen liegen landeinwärts, der feinere Sand des Strandes dem Meere zunächst.

(der Bohrschwamm) entfaltet seine destruktive Tätigkeit durch Anlage kleiner Bohrlöcher im Gestein, während die Bohrmuscheln (Pholas) größere Hohlräume (bis 1 cm Durchmesser) schaffen. Die Tätigkeit der Pholaden erstreckt sich weit in die Vergangenheit der Erde hinein. Schon in der obersten Trias wurden vereinzelt Bohrlöcher dieser Organismen gefunden, während sie im Tertiär große Verbreitung besitzen. Selbst harte Gesteine, wie Muschelkalk und Quarzit, werden von den Bohrorganismen aufgesucht, die auch anderseits weiche Tonkonkretionen bewohnen.

Häufig wird die Tätigkeit der Bohrpongien durch Tangwurzeln unterstützt. Das auf der Oberfläche und in den Rissen des Gesteins wurzelnde Fucuskraut wird durch den Wellenschlag hin und her getrieben, bis durch dieses Zerren im Verein mit der Tätigkeit der Muscheln Gesteinsbrocken losgesprengt werden.

2. Alte Terrassen.

Das Endergebnis der nagenden Tätigkeit des Meeres ist die Entstehung von Abrasionsflächen (Abb. 20; Helgoland), die von einzelnen härteren Gesteinstürmen oder Zacken überragt werden. Das Meer schleift im allgemeinen glatter ab als die Kräfte, welche auf dem Festlande denudierend wirken, doch lagert sich auch die transgredierende Formation zuweilen mit unebener Oberfläche auf der älteren auf. (Vgl. unten die Bilder der Potomacformation [Abb. 62, S. 126] und von Montmorency Falls in Canada [Abb. 29, S. 54].)

Das Eingreifen des Meeres in vorhandene Hohlformen des Festlandes bezeichnet Richthofen als Ingression. (Abb. 36, S. 71.) Ingression und Transgression sind wichtige Vorgänge, die sich in der Erdgeschichte derselben Gegend wiederholen können. Es kann daher die Transgression, die weit zurückliegende Abschleifung der Oberfläche, auch das Antlitz der heutigen Landschaft beherrschen. Allerdings muß die transgredierende Formation wieder entfernt werden und die ganze abgeschliffene Masse in geringer Höhenlage über dem Meere liegen. Andernfalls greift die Erosion des Festlandes in die Abrasionsfläche ein und schafft Erosionsgebirge. (Vgl. Bd. III, Erosion im Rheinischen Schiefergebirge.)

Jeder Rückzug des Meeres prägt sich an den heutigen Küsten aus, und die Bedeutung der Terrassen und Strandlinien ist für die heutige Landschaftsform ebenso groß wie für die Erdgeschichte. So ist bei Christiania die Küste von einer Reihe kleiner flacher Inseln (Schären),



Unter-
silur-
fall
Gneis
(steil auf-
gerichtet)

Unter-
silur
Gneis

Abb. 29. Normales Bild einer Transgression bei Montmorency Falls, Montreal, Canada. Die Gneislagen (im Vordergrund) sind steil aufgerichtet, von dem vordringenden Meer des Untersilur glatt abgeschliffen und mit den flachlagernden Kalkschichten des Silur bedeckt.

der sogenannten Schärenflur, eingefasst. Die Schären werden durch eine wenige Meter über dem Meeresstrande liegende ebene Fläche begrenzt, die ihre unmittelbare Fortsetzung in einer gleich hohen Brandungsterasse der gegenüberliegenden Küste findet. Schären und Brandungsstrand deuten auf den letzten Rückzug des Meeres hin (Abb. 25, 26). Im Inneren der norwegischen Sjorde steigen die Strandterrassen zu weit größerer Höhe empor, beruhen aber hier auf der Brandungswirkung der durch Gletscher (Bd. VI) gestauten Binnenseen. Strandterrassen bis zu 200 m Höhe in ähnlicher Form wie die norwegischen beobachtete die zweite Fram-Expedition im höchsten Norden Amerikas am Smith-Sund.

Im Norden des von Landeis bedeckten Ellesmerelandes, südlich von Grinell-Land unterfast 79° n. Br. hat die von Sverdrup geführte Fram-Expedition Terrassenbildungen in ungewöhnlicher Schönheit und Frische nachgewiesen. Die 200 m Terrasse am Framhafen¹⁾, noch mehr die prachtvolle Plattform der Aussicht von der Brasterudfluh nach Norden

1) O. Sverdrup, Neues Land (Leipzig, Brockhaus 1903) I, S. 168; 2 A. S. 196.



Mittel-
devon:
Korallen
u. Brachio-
podenriffe

Abb. 30. Torquay, Süd-Devonshire. Ingressionküste. Natürliche Brücke, aus gefaltetem, schiefriem Kalk des Mitteldevon bestehend.

sind Beispiele eines höheren Meeresstandes, der vollkommen an die Höhe norwegischer Strandlinien erinnert. Wie bei diesen wird der Übergang zu dem heutigen Meeresniveau durch tiefer liegende Terrassen vermittelt; solche eingeschnittene Terrassen finden sich in Höhe von 174 m (79° n. Br. Fort Juliane), 142 m (Jones Sund 76° n. Br.) und 105 m (Bedford-Pim-Insel unter 78 und 79° n. Br.).

Kompensiert wurde dieser Rückzug des Meeres durch ein Vordringen des arktischen Ozeans in Nordasien: Die Verwandlung der alten Mündungsdeltas von Lena und Jana in die Inselgruppe Neusibirien, die Trennung von Asien und Nordamerika durch die Beringstraße dürfte gleichzeitig mit dem Rückzug des Meeres aus hochnordischen Ländern erfolgt sein. Doch sind die Strandterrassen keine altweltliche Erscheinung; die Küsten des Atlantischen Ozeans werden beiderseits von ihnen begleitet, während am Pazifischen Ozean diese Bildung fehlt. Hierher gehören vor allem die Terrassenbildungen an der Küste Westspaniens und Portugals, die scharf abgesetzte, durch das Meer geschaffene Abrasionsflächen darstellen. So liegen bei Lissabon drei Terrassen, am Kap Trafalgar deren zwei in 20 m und 170 m Höhe und an vielen

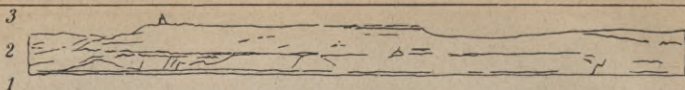


Abb. 31 a. Lissabon mit drei Strandlinien (1–3).

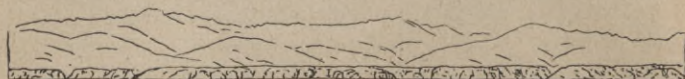


Abb. 31 b. Kap San Augustin (Spanien) mit einer Strandlinie.

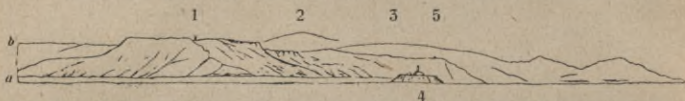


Abb. 31 c. Kap Trafalgar mit zwei eingeschnittenen Strandlinien a) in 20 m, b) in 170 m Höhe. 1. Meca-Turm; 2. Alho-Berg; 3. Retin-Berg; 4. Leuchtturm auf dem Kap Trafalgar; 5. Taja-Turm.

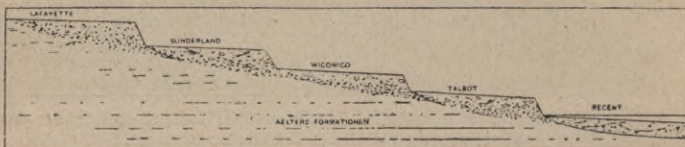


Abb. 31 d. Die jungpliozänen und quartären aufgeschütteten Terrassen auf der Küstenebene von Maryland. Zu oberst die Lafayette-Terrasse (400–500 Fuß über dem Meer). Darunter die Sunderland-Terrasse bei ca. 200 Fuß. Darunter die Wicomico-Terrasse in ca. 100 Fuß. Die unterste Talbot-Terrasse liegt nur ca. 30–40 Fuß über dem heutigen Brandungsstrand. Die angegebenen Höhenzahlen zeigen mannigfachen Wechsel; so kann die Lafayette-Terrasse bis auf 200–300 Fuß sinken.

Punkten (z. B. Abb. 31 b) eine Terrasse in wechselnder Höhe. Eine Reihe von vier aufgeschütteten Terrassen¹⁾ deutet auf ebenso viele höhere Wasserstände des westatlantischen Ozeans am Schluß des Tertiärs und im Verlauf der Quartärperiode hin. Wenn auch die Altersbestimmung der einzelnen tektonischen Phasen der Küste von Maryland nicht ganz sicher ist, so zeigt sich doch dieselbe Unbeständigkeit der Küste auf beiden Seiten des nordatlantischen Meeres.

Die Terrassen der Küste von Maryland sind aufgeschüttet, auf der Nordküste der Insel Cuba erscheinen dagegen Strandterrassen und Strandebenen in den das vorherrschende Gestein bildenden jungen Korallenfalk eingeschnitten. Zwei Strandlinien, eine tiefere von ca. 10 m,

1) Maryland Geol. Survey 1906, S. 66.

eine höhere von ca. 70 m über dem heutigen Strande, fallen dem Beschauer bei der Annäherung an den Hafen von Habana wegen ihrer großen Deutlichkeit ebenso auf wie die Korallendurchschnitte in den Bausteinen der Stadt. Die zwei tieferen Terrassen sind ebenso wie zwei höher liegende Strandlinien schon von Crosby beschrieben worden¹⁾; eine fünfte, in 1800 Fuß Höhe liegende „Terrasse“ (El Yunque) besteht aus kristallinem Kalk und erscheint in ihrer Deutung unsicher. Die tiefste, nur 10 m über dem heutigen Mittelwasser liegende Terrasse besteht aus Kalk mit deutlichen Korallenresten und aus eingelagerten Sandschichten, die sich besonders dort einschieben, wo die heutigen Bäche und Flüsse die Terrasse durchbrechen. Die zweite, ca. 70 m hohe Terrasse stürzt gegenüber von Habana steil zum Meere ab und besteht aus einem Kalk mit undeutlichen Resten von Korallen und Muscheln. Auch die beiden nächsten, 500—800 Fuß hohen Terrassen umgeben die ganze Küste, zeigen aber eine stärkere Umwandlung des begrenzenden Kalkes.

Auch an der Küste von Großbritannien und Irland hat A. Geikie²⁾ drei Terrassen in Höhe von 100, 50 und 25 Fuß nachgewiesen, von denen die beiden höheren der Eiszeit zugerechnet werden; auf der niedrigsten sind bereits Spuren der Menschen der jüngeren Steinzeit gefunden worden. Die allgemeine Verbreitung dieser Terrassenbildungen im ganzen Gebiet des nördlichen Atlantik ist ein Beweis für die Jugendlichkeit der Küstenformen dieses Meeres.

3. Landgewinn und Landverlust in Großbritannien und Norddeutschland.

Die erwähnten Terrassenbildungen gehören den jüngst verflossenen geologischen Perioden an, dagegen schien in anderen Gebieten, so in England, ein starkes Vordringen des gegenwärtigen Meeres zu erfolgen. Aber ein Kommissionsbericht³⁾ von Geologen und Ingenieuren ergab für die letzten 30—50 Jahre folgende Änderungen:

| | In England und Wales | Schottland | Irland |
|-----------------------------|----------------------|------------|---------|
| Gewinn an Küstenland . . . | 14000 ha | 1900 ha | 3100 ha |
| Verlust an Küstenland . . . | 1900 ha | 300 ha | 450 ha |

1) Crosby, On the elevated local reefs of Cuba. Proceedings of the Boston society of natural history 22, 1881.

2) Quart. Journ. Geol. Soc. London 1904.

3) Royal Commission of Coast-Erosion. Bericht vom 1. Aug. 1907.

Der Verlust ist besonders in Norfolk eingetreten. Auch an der Küste von Norfolk hat eine Springflut in wenigen Stunden die Arbeit vieler Jahre geleistet. Nach der Flut wurde eine Wassertiefe von 18 m, stellenweise sogar von 25 m beobachtet, wo vorher nur 9 m tiefes Wasser vorhanden war; der gesamte lockere Boden war aufgewühlt und fortgespült worden. Doch wurde nach wenigen Monaten durch Transport losen Materials längs der Küste der frühere Zustand wiederhergestellt. Dauernde Landverluste bedingen dagegen die Sturmfluten, d. h. die durch Nordweststürme gesteigerten Springfluten an der Ostseeküste, so am 30. Dezember 1913 in Mecklenburg (E. Heinig) und am 9./10. Januar 1914 im Samland. Auf der hohen Kreideküste bei Dover werden unter dem Leuchtturm South Foreland jährlich 2 Fuß fortgebrochen. Bei Dungerneß ist die Küste dagegen von 1792 bis 1850 in jedem Jahre 3 m gewachsen; 1850 bis 1871 betrug der Zuwachs im Jahre 4,5 m und 1871 bis 1897 im Jahre 3 m. Anderer Landzuwachs erfolgte in geschützten Buchten (am Wash-Busen seit dem 17. Jahrh. 2000 ha).

Ganz ähnliche Erscheinungen des Landverlusts und Landgewinns zeigt nach Heinig die Küste der deutschen Meere. An der in Abb. 27 abgebildeten Stelle beträgt z. B. der jährliche Landverlust 0,72 m und wächst am Brodtener Ufer bei Lübeck sogar auf 1,2 m im Jahre (nach Friedrich). Eine langsame Senkung der Ostseeküste und ein ebensolches Vordringen des Meeres, eine Transgression, scheint sich aus diesen Beobachtungen zu ergeben.¹⁾ Die Kette der Düneninseln nördlich von Ostfriesland und Jeverland war früher in ständiger Wanderung begriffen²⁾; die Inseln brachen im Westen ab und wuchsen im Osten wieder an. Nur Borkum und das Westende von Juist scheinen durch den Lauf der Ems in ihrer Lage festgehalten zu sein. Durch die Inselbefestigungen hat die Wanderung jetzt im wesentlichen aufgehört. Vor der Inselkette vorbei findet aber noch immer eine starke Wanderung des Sandes statt. Die Ursachen sind 1. die ostwärts gerichtete Wellenwirkung, die infolge der herrschenden Westwinde einen starken Küstenstrom entstehen läßt. Seltener von Osten kommende Wellen kommen über flacheres Wasser und können sich nicht so ent-

1) E. Heinig bei Frech, Handbuch der Erdgeschichte (Quartär), S. 340 bis 347 und 364.

2) W. Krüger, Meer und Küste bei Wangeroog (Zeitschr. f. Bauwesen 1911, 22).

wickeln wie die Wellen aus der freien Nordsee. 2. Der täglich 2×6 Stunden laufende Flutstrom bedingt schräg zur Küste eine Strömung, die beim Auftreffen auf den Vorstrand ostwärts abgelenkt wird.

Diese Küstenverfetzung oder Strandvertriftung (Kümmel) konnte sich an der deutschen Küste erst nach der Abtrennung Englands vom Festlande ausbilden, die als eine durch Senkung hervorgerufene Erweiterung der alten zwischen Dover und Calais liegenden Rheinmündung zu deuten ist. Durch die neu entstandene Enge des Ärmelmeeres trat die Flutwelle in die Nordsee und zerstörte die ursprünglich zusammenhängende Nehrung, von der wir jetzt nur Bruchstücke in Gestalt der friesischen und holländischen Inseln vor uns haben.

Am bekanntesten sind die Bodensenkungen in Holland, die bis weit in die historische Zeit hinein dauerten und in dem Einbruch der Zunder See und weiter östlich in dem des Dollarts ihren Gipfelpunkt erreichten. Die Eindeichung weiter unter dem Meeresniveau liegender Flächen verleiht großen Teilen Hollands einen eigenartigen Charakter.

B. Die Bildung der Gesteine.

Der Niederschlag der zur Gesteinsbildung bestimmten Materialien auf dem Meeresgrunde erfolgt in zweierlei Form: als „Riff“, d. h. als massiges, durch keinerlei Unterbrechungen gegliedertes Gebilde oder in einer den Jahresringen der Bäume vergleichbaren Form, als Schicht, die durch eine Schichtenfuge, d. h. eine Unterbrechung des Absatzes, oben und unten begrenzt ist. Das Material der Schichten und Riffe stammt aus der Kalk oder Kieselsäure absondernden Tätigkeit der Organismen (Vortr. IV) oder aus der Zertrümmerung und Aufbereitung vorhandener Gesteine (Vortr. III A) oder endlich — wenn auch in wesentlich zurücktretender Menge — aus unmittelbarem chemischen Absatz. Die Bildung der rifförmigen und geschichteten Absätze aus Kalk oder Dolomit hängt räumlich und ursächlich eng zusammen und wird daher besonders (Vortrag IV) behandelt. (Die durch die Tätigkeit der Landpflanzen vermittelte Bildung von Torf und Kohle gelangt im V., die ablagernde Tätigkeit des Windes und Eises im V. und VI. Bänden zur Darstellung.)

4. Schichtenbildung (Sedimentierung).

Den Vorgang der Sedimentbildung, d. h. den durch Ruhepausen unterbrochenen Absatz verschiedener Materialien auf dem Meeresboden

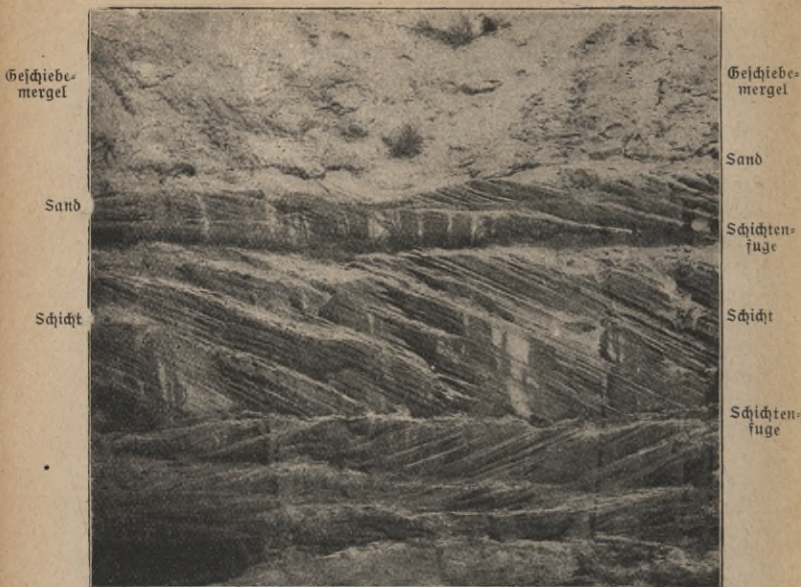


Abb. 32. Kreuzgeschichteter Sand, abgelagert von Bächen der Voreiszeit, unter Geschiebemergel (= Grundmoräne). Westküste von Spitt.

oder dem Grunde süßer Gewässer, kann man am leichtesten an einem Hochwasser verständlich machen. Jede größere Wassermenge vermehrt in Strömen und Flüssen die Transportfähigkeit des Wassers und eröffnet so die Möglichkeit, größeres Material wie Kies und Sand in größerer Menge bis in den Mittellauf zu verfrachten. Beim Abfließen des Hochwassers schlagen sich die groben Bestandteile nieder und bilden eine Schicht von Sand oder Kies. Die feineren schlammigen Bestandteile, d. h. die Flußtrübe, setzen sich später in den Zeiten des Mittel- oder Niederwassers in Form von Schluff ab, unterbrechen also die Sandlagen und bilden eine Schichtenfuge.

Die Abläge des bewegten Wassers zeigen die unregelmäßige Form der Kreuzschichtung (vgl. das anschauliche Bild von der Nordseeküste Abb. 32), während die in ruhigerem Wasser des Ozeans oder der Binnenseen niedergeschlagenen Schichten in sich gleichförmig gelagert

und ebenso durch parallele Schichtenfugen begrenzt sind. Stellen wir uns vor, daß bei dem Hochwasser eines Stromes auch die der Mündung benachbarten Flächen des Meeresgrundes



einen stärkeren Absatz von

Abb. 33. Sandstein, kreuzgeschichtet, vom Winde ausgenagt, am Nordrande des Uadi Saregh.

Sandmassen erfahren, so ergibt sich der Einfluß der kontinentalen Abtragung auf die Sedimente des Meeres. Auch abgesehen hiervon wird die stärkere Wasserbewegung in der Zeit der Tag- und Nachtgleichen einerseits, die ruhige See des Sommers andererseits periodisch die Bildung von Schichten und Unterbrechungen (= Schichtenfugen) auf dem Meeresgrunde bedingen. Der Absatz organogener Kalk unterliegt demselben Gegensatz stärkerer und schwächerer Sedimentierung.

Andere Einwirkungen werden durch starke Stürme oder die seltenen Ereignisse von Erdbebenslutwellen oder Klimaänderungen hervorgerufen, die gerade den ruhigen Aufbau der Schichten durch die kaltsabsondernden Meerestiere zu unterbrechen geeignet sind.

Die Zufuhr von chemisch gelösten oder mechanisch zerriebenen Stoffen (Abb. 33) erfolgt durch die eigene Tätigkeit der Brandung des Ozeans und die Transportkraft der Flüsse. Zunächst ist die Menge der in chemischer Lösung im Flußwasser enthaltenen Stoffe sehr bedeutend: Zur Feststellung pflegt man den Gehalt des Flußwassers an der Mündung auf chemischem Wege zu untersuchen; die Wassermenge des Flusses ergibt dann die Größe der jährlichen Zufuhr.

Noch anschaulicher ist die Feststellung des Verlustes, den das Festland auf diesem Wege alljährlich erleidet. Man dividierte die bekannte Menge der chemisch gelösten Stoffe durch den Flächeninhalt des Fluß-

gebietes und fand als Mittelwert, daß im Durchschnitt ungefähr
40 000 Kilogramm chemisch gelöste

Bestandteile alljährlich aus jedem Quadratkilometer der von Flüssen entwässerten Kontinente dem Meere zugeführt werden. Nach den Untersuchungen von Mellard Reade entspricht in den Präriefläüssen Mississippi und La Plata dieser Durchschnittswert von 40 000 kg der dort entnommenen Menge. Geringer (20 000 kg) ist die Entnahme des chemisch gelösten Kalkes in einem reinen Tropenstrom wie dem Amazonas sowie in der Donau mit 36 000 kg auf den Quadratkilometer. Dagegen findet in den kühlgemäßigten, früher vergletscherten Gebieten eine sehr viel stärkere Entnahme von chemisch gelöstem Kalk, kohlensaurer Magnesia, Gips, Kochsalz und anderen Stoffen statt. In den englischen Flüssen werden durchschnittlich 55 000 kg, im Gebiete des Lorenzstromes sogar 77 000 kg alljährlich jedem Quadratkilometer entnommen. Da etwa die Hälfte der gelösten Stoffe des Flußwassers aus kohlensaurem Kalk besteht, ist die Bedeutung dieser Zufuhr sehr hoch einzuschätzen. Findet doch, wie in dem folgenden Abschnitt gezeigt wird, auf vielen Stellen des Meeresgrundes ein ununterbrochener Kalkabsatz statt. (Vortrag IV.)

Die in den Ozean geführte Flußtrübe würde durch die Meeresströmungen außerordentlich weite Verbreitung finden, wenn nicht die im Meerwasser gelösten Salze, vor allem das Chlormagnesium, einen raschen Niederschlag der feinen schwebenden Teilchen bedingten. Schon vor 80 Jahren wurde Sidel im Mississippidelta auf diesen klärenden Einfluß des Salzwassers aufmerksam, und spätere genaue Versuche haben erwiesen, daß gelöstes Kochsalz und Chlorkalium am wenigsten, das Chlormagnesium am raschesten den Absatz der schwebenden Schlammbestandteile herbeiführt. Für die Entstehung untermeerischer Deltas, wie sie die Mündungen des Amazonas und des Mississippi umgeben, ist diese Beschleunigung des Absatzes von großer Wichtigkeit.

In der Gegenwart und noch mehr während der Eiszeit haben die Eisberge die Sedimentbildung des Meeresbodens wesentlich befördert. Die Flachsee Nord Sibiriens, die Barentsee, die Ostsee, der Globigerinenschlamm (S. 65) des ostatlantischen Ozeans, Hudson- und Baffins-Bay sind mit Geschieben und erdigen Sedimenten erfüllt, die einen erheblichen Anteil an der Zusammensetzung der Eisberge nehmen; schätzt doch R. S. Carr die vom Treibeis des Labradorstromes verfrachteten festen Bestandteile auf mindestens 1/100 des Volumens der Eismassen.

Einen weiteren wichtigen Faktor für die Sedimentation bilden die Strömungs- und Temperaturverhältnisse, die insofern in ursächlichem Zusammenhang stehen, als die oberflächlichen Strömungen das warme Wasser des Äquators den Polen zuführen, während das kalte Wasser durch Tiefenströmungen zurückgeleitet wird. So entführt der Golfstrom das Wasser dem Mexikanischen Golf, um den europäischen Küsten, besonders England und Skandinavien, eine höhere Temperatur zu bringen. Gleichzeitig führt er den tropischen Globigerinenschlamm bis in die Breiten Skandinaviens mit sich.

5. Flachsee, Hochsee und Meeresgrund.

Für die Unterscheidung von Flachsee und Tiefsee hat man verschiedene Merkmale, so die bis zu 200 m Tiefe herabreichende Wirkung der starken Wogen, die Bestrahlung des Sonnenlichtes und das dadurch beschränkte Vorkommen der Meerespflanzen vorgeschlagen. Für den Geologen ist eine möglichst einfache Übersicht allein brauchbar, da viele in den gegenwärtigen Meeren leicht wahrnehmbare Merkmale seiner Beobachtung entrückt sind. Zur Vereinfachung der bisherigen Gliederungsversuche unterschied A. E. Ortmann¹⁾ 1. einen litoralen Lebensbezirk (Meritisch), 2. einen Lebensbezirk der Hochsee (Pelagisch), 3. einen Lebensbezirk der Tiefsee (Abysstisch).

Die Biologie sondert, auf Grund der Untersuchung lebender Meeres-tiere, die flottierenden Lebewesen oder das Plankton von den grundbewohnenden oder dem Benthos; das erstere kennzeichnet im wesentlichen die Hochsee, das Benthos die Tiefsee. Der Geologe, in dessen Arbeitsgebiet sich flottierende und bodenbewohnende Formen gleichmäßig abgesetzt haben, bemüht sich nur, die bathyhalen, bis 1000 m reichenden Absätze von der wirklichen abysstischen Tiefsee zu trennen.

Die Grundlage unserer Kenntnis von der Beschaffenheit der Absätze auf dem Meeresgrunde bilden die an den Grundproben der Challenger-Expedition gemachten Untersuchungen von Murray und Renard; eine Zusammenstellung aller neueren Erfahrungen bietet das vortreffliche, in zweiter Auflage (1907) von O. Krümmel neu bearbeitete Boguslawskische Handbuch der Ozeanographie. Aus den Erfahrungen der Gegenwart werden hier nur die wesentlichsten Punkte mit den geologischen Beobachtungen über den Aufbau der Erdrinde verglichen.

1) Vgl. Tier-Geographie § 20 und den folgenden Vortrag V.

Die im folgenden wiedergegebene Einteilung der Meeresablagerungen ist, wie O. Krümmel mit Recht betont, künstlich, da sich zwei verschiedene Gesichtspunkte (Meerestiefe und Herkunft des Materials) durchkreuzen. Den richtigen Kern hat Krümmel (Ozeanographie S. 205) herausgeschält und begegnet sich in dieser Hinsicht mit E. Haug¹⁾. Die landnahen oder litoralen Ablagerungen entsprechen den neritischen Sedimenten (E. Haug), die abyssischen Gebilde den landfernen oder eupelagischen Tiefseeablagerungen. Auch die hemipelagischen Gebilde mit einer Mischung der landfernen und landnahen Sedimente entsprechen den „bathyalen“, zwischen 200 und 1000 m gebildeten Ablagerungen, welche noch terrigenen Ursprungs sind. Hier werden die deutschen Bezeichnungen „landnah, landfern“ bevorzugt und nur für die Stufe 200—1000 m die Bezeichnung bathyal angewandt.

Die folgende Tabelle gibt ein Bild der Verteilung und Art der Sedimente des Meeresbodens nach Murray und Renard.

Marine Ablagerungen:

| | | |
|---|--|---|
| 1. Tiefsee = Ablagerungen (außerhalb der 200 Meter-Linie) | Roter Ton Radiolarienschlamm Diatomeenschlamm Globigerinenschlamm Pteropodenschlamm | I. Pelagische Ablagerungen (in tiefem Wasser, fern vom Lande gebildet). |
| | Blauer Schluff Roter Schluff Grüner Schluff Vulkanischer Schluff Korallen-Schluff (s. Vortr. VI.) | |
| 2. Seichtwasser = Ablagerungen (zwischen der 200 Meter-Linie und dem Niederwasserstand) | Sande, Kiese, Schlamm usw. | |
| 3. Litorale Ablagerungen (zwischen Hoch- und Niederwasserstand) | Sande, Kiese, Schlamm usw. | |

1) Revue générale des sciences 1898, S. 367.

Die Ausdehnung, welche die einzelnen Ablagerungen in Millionen Quadratfilometern und in Prozentanteilen des gesamten Meeresgrundes besitzen, ist in der nachfolgenden Übersicht enthalten.

Die Areale der Bodenablagerungen des Ozeans.¹⁾

| | in Millionen Quadratfilometern | in Prozent- anteilen |
|--|-----------------------------------|-------------------------|
| | des Weltmeeres | |
| I. Landnahe (neritische und litorale) Ablagerungen | 33,0 | 9,1 |
| II. Bathyale (hemipelagische) Ablagerungen | 55,7 | 15,4 |
| III. Landferne (eupelagische-abyssische) Ablagerungen. | 272,7 | 75,5 |
| III. gliedert sich in: | | |
| 1. Globigerinenschlamm | 105,6 | 29,2 |
| 2. Pteropodenschlamm | 1,4 | 0,4 |
| 3. Diatomeenschlamm | 23,2 | 6,4 |
| 4. Roter Tiefseeton | 130,3 | 36,1 |
| 5. Radiolarienschlamm | 12,2 | 3,4 |
| | } = 272,7 | } = 75,5 % |

6. Die Ablagerungen der eigentlichen Tiefsee.

(Die eupelagischen oder abyssischen Bildungen.)

Die Ausdehnung der terrigenen und der ozeanischen Sedimente steht im umgekehrten Verhältnis zu ihrer Mächtigkeit. Die Ausdehnung der kontinentalen Ablagerungen umfaßt noch nicht 90 Mill. km², während die der pelagischen an 300 Mill. km² heranreicht. Hingegen entspricht dieser größeren Ausdehnung eine viel geringere Mächtigkeit, da sich die geologischen Veränderungen vornehmlich in der Nähe der Kontinente und Mittelmeere, nicht aber in den großen Meerestiefen abgespielt haben. Wie langsam die Sedimentation in großen Tiefen vor sich geht, ersieht man aus der Tatsache, daß das Tiefseeneß Reste der Tertiärzeit, wie Paukentröcher der Walfische und Haifischzähne, heraufbefördern konnte; diese Fossilien waren aber trotz ihres hohen Alters erst von einer wenige Zentimeter dicken Sedimentlage bedeckt.

1. Der Globigerinenschlamm besteht im wesentlichen aus einzelligen Rhizopoden, den Globigerinen (Abb. 34), deren Lebensbedin-

1) Nach Krümmel, Ozeanographie, S. 205.



Abb. 54. Urtiergehäuse aus dem Tiefseeschlamm bei 600fach. Vergrößerung. Oben Globigerina, unten rechts Textularia, beide Foraminiferengehäuse aus Kalk, unten links ein Radiolariengerüst aus Kiesel.

gungen an warme Strömungen gebunden sind. Neben dem tierischen Plankton sind die Überreste kalkabsondernder flottierender Algen, die sog. Kockolithen (*Coccolithophora*) wichtig. Es sind das planktonisch lebende Algen, die ihre Zelle mit einer Rinde von ovalen Kalkgebilden (von 0,001—0,003 mm Durchmesser) umgeben, die nach dem Tode der Pflanze in die Tiefe sinken. Die Globigerinenablagerungen reichen in eine Tiefe von 3500 m hinab, die somit etwa 1500 m geringer ist als die des roten Tons. Erst unterhalb von 4000 m zerfällt der Kalk durch Kohlensäure.

2. Räumlich bedeutend geringer ist die Ausdehnung der Pteropoden-

und Heteropodenerde. Sie setzt sich zusammen aus den genannten Gruppen von frei flottierenden Gastropoden, deren Existenz an die Tropen gebunden ist. Diese Ablagerungen finden sich besonders an der Küste Australiens und im nördlichen Teile des Atlantischen Ozeans und reichen bis in eine Tiefe von 1870 m hinab.

3. Anders geartet als diese im wesentlichen an die Tropen gebundenen Organismen sind die Diatomeen, deren Ablagerungsgebiet vorwiegend arktisch ist. Ihr Vorkommen auf dem Meeresgrunde ist auf einen zusammenhängenden breiten Gürtel im südlichen Eismeer und einen kleineren im nördlichen Teil des Pazifischen Ozeans beschränkt. Doch sind diese kieselbildenden Algen ihrem Wesen nach weniger Kaltwasserformen als vielmehr an Wasser mit geringem Salzgehalt geknüpft und finden sich daher in Meeresteilen, die durch Abschmelzen von Eisblöcken mit einer Schicht salzärmeren Wassers bedeckt sind. Das Vorkommen der Diatomeen liefert deshalb einen Anhaltspunkt für die Verbreitung der arktischen Eismassen. Gering war daher die Verbreitung der Diatomeen in der Vergangenheit der Erde, wo sie nur vereinzelt Schichten des Tertiärs aufbauen halfen. Die bekannten quartären für

die Dynamitfabrikation wichtigen Kiesel-erden der Lüneburger Heide bestehen aus echten Süßwasser-Diatomeen.

4. Der rote Ton ist ein Zersetzungsrückstand, der übrigbleibt, nachdem die Kohlensäure alle herabsinkenden Kalkschälchen und Wirbeltierreste vernichtet hat. Kalkgehalt fehlt meist ganz und steigt niemals über 20%. Sein Ursprung ist zum geringen Teil kosmisch wie die winzigen Partikel von nickelführendem Meteoreisen, im wesentlichen aber vulkanisch, d. h. der Ton setzt sich aus vulkanischem Staub zusammen, der, wie die Dämmerungerscheinungen nach enormen Vulkanausbrüchen beweisen, noch jahrelang in der Atmosphäre schwebt; dazu kommen Rückstände des durch Strömungen weithin verfrachteten, durch Kohlensäure zersetzten Bimssteins. Das charakteristische Merkmal des roten Tons, für den eine Durchschnittstiefe von 5000 m anzusetzen ist, sind die zahlreich vorkommenden Manganknollen, die auch aus Tiefseebildungen der Vorzeit — so in roten Triaskalken der Argolis und Indonesiens (Timor und Rotti) — weit verbreitet sind. In geringeren Meerestiefen findet sich roter Ton im Umkreise des antarktischen Meeres, von dem kohlen-säurereiche Strömungen nordwärts ziehen. Unter den Meeren der Gegenwart ist der Pazifik — entsprechend seinem überragenden Alter — das Meer des roten Tiefseetons, der Atlantik, dem der Indische Ozean in dieser Hinsicht nahesteht, das des Globigerinenschlammes. Die Vertretung von rotem Tiefseeton in den Schichten der Erdrinde ist zweifelhaft, was bei der geringen Mächtigkeit der heute gebildeten Sedimente nicht wundernehmen kann. Bedeutsamer sind dagegen die Absätze von kieseliger Radiolarienerde (Radiolarite oder Kiesel-schiefer) in beinahe sämtlichen Schichten sowie von Globigerinenerde oder Kreide in jüngeren Absätzen der geologischen Vorzeit.

5. Kiesel-schiefer mit Radiolarien, welcher die Unlöslichkeit bei gewöhnlicher Temperatur vor anderen Gesteinen voraus hat, liegt in der Bretagne schon in Schichten, die aller Wahrscheinlichkeit nach älter sind als die älteste Formation des eigentlichen Paläozoikum; in dieser letzteren besitzen Kiesel-schiefer ebenfalls weite Verbreitung, finden sich dann aber besonders in Triass-schichten Südeuropas und in Jurabildungen der Alpen. Außer den zahlreichen mikroskopischen Resten der kieseligen Protozoen finden sich in den Radiolariten nur die hornigen Deckel (Aptochen) der kalkigen Ammonitenschalen, welche letztere durch die Kohlensäure der großen Meerestiefen aufgelöst worden sind.

7. Die bathyalen (hemipelagischen oder terrigenen) Absätze.

Die terrigenen Sedimente, die die Kontinente meist nur als schmaler Saum begleiten, verdanken, wie der Name besagt, ihren Ursprung der Denudation des Festlandes. Sie bestehen im wesentlichen 1. aus Geröllen, Sand und Schlamm, die sich zu Konglomeraten, Sandstein und Ton verhärteten; reine Quarzsande ergeben Sandstein, dessen technische Verwendbarkeit mit dem Zurücktreten der Tone, des Kalkes und des Feldspates zunimmt. Feldspatreiche, aus zerriebenen Eruptivgesteinen bestehende Sandsteine werden als Arkose, grobkörnige, an Ton- und Schieferbrocken und anderen Beimengungen reiche Gesteine als Grauwacke bezeichnet. Dieser den Küsten folgende Sedimentstreifen wird im allgemeinen nur von den Mündungen der großen Flüsse durchbrochen. So treibt die lebendige Kraft des Amazonasstroms, des Mississippi und des Kongo die terrigenen Sedimente bis in die Tiefsee hinein. Die Abhängigkeit der Meeresedimente vom Kontinent ist insbesondere im Westen Europas deutlich erkennbar. Ebenso verdanken die Ablagerungen der Küstenmeere Ostasiens ihre gelbe Farbe dem Löß des Kontinents. Zu den terrigenen Gebilden gehören vor allem die Ablagerungen der eigentlichen Binnenmeere wie Ost- und Nordsee. Hingegen enthält das Karaimische Meer trotz seiner Lage zwischen Kontinenten und Inseln echte Tiefseeablagerungen. Von den verschiedenen Formen der terrigenen Sedimente, die bis in eine Tiefe von 2500 m herabreichen, nehmen Gerölle, Kiese und Sande den der Küste zunächst liegenden Streifen des „Schelfs“ ein, der sich vom tiefsten Ebbestand bis zur 200 m-Linie erstreckt. Der bedeutende Anteil, den die Sandsteine am Aufbau der Erdrinde haben, entspricht der Verbreitung der Sande der Gegenwart.

2. Der blaue Schlick. Der sogenannte blaue Schlick, die der nächsten Tiefenstufe angehörende Form der terrigenen Sedimente, ist das letzte Abschlämmungsprodukt der zerstörten Bestandteile der Kontinente und dankt seine Farbe teils beigemengtem Schwefeleisen (Eisensulfid), teils organischer Substanz. Er ist vielfach mit marinen Muscheln erfüllt, von sehr heterogener Zusammensetzung, und besitzt in bezug auf Flächen- wie Tiefenausdehnung große Bedeutung für die Vergangenheit der Erde wie für die Gegenwart (36 Mill. km²). In humoser Ausbildung (als Schlick der Marschen) findet sich der blaue Schlamm in dem nord- und ostfriesischen Wattenmeere. Als plastischer Ton wird



Abb. 35. Unterkambriſcher (Eophyton-) Sandſtein, die Steilküſte de Glint in Eſtland bildend.

er wertvoll für verschiedene Zweige der Industrie. Der blaue Schlicf bildet ſeiner Herkunft entſprechend die Umrahmung der Kontinente und wird nur lokal durch vulkauiſchen oder Korallenschlamm unterbrochen. Die Farbe dieſes Schlicfs wechſelt entſprechend den Zerſetzungsprodukten, denen er ſeine Herkunft verdankt. So iſt der Schlicf der Wattenmeere ſchwarz, der der chineſiſchen Oſtküſte durch die Lößſedimente des Hoangho gelb gefärbt. Den Schwefeleiſenſchlicf, eine Sonderform des blauen Schlicfs, enthält das Schwarze Meer, deſſen Gewäſſer unterhalb der Tiefenſtufe von 230 m nicht genügend ventiliert und daher reich an Schwefelwaſſerſtoff, aber arm an Sauerſtoff ſind. Das ſchwarz gefärbte Schwefeleiſen (FeS) nimmt faſt die Hälfte des ganzen Bodenabſaßes ein, während Kalk zurücktritt (13—18% werden im tieſten Teil des Pontus, 65% nur einmal beobachtet).

In den Abſätzen der Vorzeit ſind etwa von der mittleren Kreide an bis zum Devon die Schwefeleiſen führenden Tone und Schieferſtone ſehr verbreitet und beſonders durch den Reichtum der wohlher-

haltenen Ammoneen¹⁾ ausgezeichnet, deren Kammern häufig von Schwefeleisen oder dem aus diesem Sulfid entstandenen Brauneisenstein ausgekleidet sind. Die Zahl und der Formenreichtum der Ammoneen hat durch das in den Meeren der Vorzeit enthaltene Schwefeleisen nicht gelitten. Hingegen bleiben die vertieften Ammoneen stets an Größe hinter den zu derselben Art gehörenden Individuen zurück, die in taligen Abhängen vorkommen.

3. Der vulkanische Schlick, der bis 2 km Tiefe herabreicht und einen Flächenraum von 1,5 Mill. km² bedeckt, ist das direkte Produkt vulkanischer Aschenausbrüche und an die Umgebung vulkanischer Inseln gebunden. Er wird als Asche und Bimsstein in erster Linie durch Wind und Meeresströmungen verfrachtet und bildet nur eine Modifikation des blauen Schlicks. In der Vorzeit haben submarine Tuffe, die in den paläozoischen Schichten als Schalsteine bezeichnet werden, große Wichtigkeit und Verbreitung.

Umwandlungsformen des wesentlich aus Ton bestehenden blauen Schlicks. Als Ton in weiterem Sinne bezeichnet man zunächst die eigentlichen aus Kaolin (wasserhaltigem Tonerdesilikat: Al_2O_3 , SiO_2 , $2H_2O$) bestehenden, weiter aber auch die aus feinstem Gesteinsmehle (verschiedener Silikate, letztere = Alphitite) zusammengesetzten plastischen Gebilde. Durch die Wirkungen des Gebirgsdruckes hat der Kaolinit wie der Alphitit verschiedene Umwandlungen erlitten. Als plastischer Ton zeigt er sich von der Gegenwart bis über Mitte des Tertiärs abwärts als Septarienton Norddeutschlands²⁾ und Badener Tegel. In tieferen Schichten herrscht der Schiefer-ton vor, der durch Druck schon höhere Festigkeit erlangt hat. Der weiter steigende Gebirgsdruck wandelt ihn zu Tonschiefer (Abb. 36) um, der als Dachschiefer und Tafelschiefer technisch verwertet wird. In noch älteren Schichten der Erdrinde beginnen Umwandlungen petrographisch-mineralogischer Art in Tonglimmerschiefer.

4. Der rote Schlick. Ein Sediment rein klimatischen Ursprungs ist der rote Schlick. In seiner Flächenausdehnung von nur 0,25 Mill. km² ist er auf den südlichen Atlantischen Ozean beschränkt und zeigt sich

1) z. B. Goniatitenschiefer des Devon und des Oberkarbon; Choristoceraschiefer des alpinen Rät, die Ornatentone des braunen Jura und die Aptmergel Südfrankreichs.

2) So genannt nach dem Vorkommen von Kalknollen; letztere sind innerlich durch Klüfte („Septa“) geteilt und zerfallen somit leicht.



Abb. 36. Ilfracombe, Nord-Devonshire. Ingressionstüste, bestehend aus Ton- und Schiefer (Umwandlungsform des blauen Schlichs). Schieferung und Schichtung schneiden sich im spitzen Winkel.

vor allem in schöner Ausbildung an den Mündungen des Amazonas und Orinoko. Diese Ströme führen einen an Roteisenstein (Laterit s. Vortrag II) reichen Schlamm, dem die rote Farbe entstammt. Sein heutiges Vorkommen wird weit in Schatten gestellt durch seine Verbreitung in der Vergangenheit der Erde als roter Ton und toniger Sandstein. Vom Devon bis in die Unterkreide hinein besitzen die Ablagerungen des roten Schlichs große Bedeutung in ihrem Auftreten als Old Red-Sandstone, ferner in den Ottweiler Schichten des Karbon (der kohlenfreien Facies der Steinkohlenformation), im Buntsandstein und dem Keuper der Trias. Wie auch heute unter den Tropen und Subtropen der Verwitterungsboden durch eine rötliche Färbung gekennzeichnet ist, so hat eine allgemeine höhere Temperatur verflorener



Abb. 37. Küstenbild aus Tasmania. Geröllschieferfelsen (wohl geschichtet) durch Brandung zerstört.

heit und Gegenwart ein wichtiges Sediment dar. Die großen in das Meer gelangten Mengen von Eisenoxyd haben sich bis zu etwa 1000 m Tiefe abwärts in den Schalen der Globigerinen niedergeschlagen, die dadurch ein grünes Aussehen erhalten. Wurde die Kalkschale später aufgezehrt, so bleiben nur die Ausfüllungen als Steinkerne erhalten. Neben dem färbenden Glaukonit wird das Sediment aus tonigen Bestandteilen (grüner Schlick) oder aus sandigen, dem sogenannten Grünsand gebildet; letzterer ist eine Transgressionsbildung z. B. an der Basis der oberen Kreide. Grünsand und grüner Schlick begleiten besonders die Steilabstürze der Kontinentalsockel, und zwar dort, wo die größeren, den Meeresboden direkt mit blauem Schlick bedeckenden Flüsse fehlen. Die grünen Bodenarten kennzeichnen also die eintönigen Längsküsten vor allem des Westens von

Erdepochen diese rote Ablagerung bewirkt. Daß der rote Schlick in seiner Ausbildung als Buntsandstein und Rotliegendes an die Flachsee oder kontinentale Binnengewässer gebunden ist, erhellt aus der Tatsache, daß seine Oberfläche durch die Einwirkung des Wassers öfter mit Wellenfurchen (Riffelmarken) bedeckt ist. Neben dem Reichtum an Eisenoxyd haben auch an seiner Zusammensetzung Quarzkörner einen bedeutenden Anteil.

5. Der grüne Schlick. Der grüne, durch Kalieisenoxyd-Silikat (Glaukonit) gefärbte Schlick, stellt in der Vergangen-

Amerika. Die Bildungsweise des Kali-Eisenoxyd-Silikates ist keineswegs aufgeklärt.

6. Phosphatbildung. Zu den durch Tätigkeit der Organismen gebildeten Absätzen der Flachsee gehören die Phosphatknochen, die unregelmäßige Gestalt und oft beträchtliche Größe erreichen. Ihr Gehalt an phosphorsaurem Kalk ($\text{Ca}_3\text{2PO}_4$) erreicht 50%. Phosphate deuten in der Gegenwart wie in den jüngeren Schichten der Erde (Carolina- und Florida-Phosphate) auf ein Fischsterben, wie es z. B. 1882 die atlantischen Küsten der Union betroffen hat. Eine Wiederholung ähnlicher Vorgänge würde die Tatsache erklären, daß das Phosphat an der ganzen Küste bis zur Floridastraße vorkommt. Noch häufiger wurden Phosphate von der Challenger- und Gazelle-Expedition auf der Agulhasbank beobachtet. Hier bricht, wie Carl Chun anschaulich schildert, eine eisige antarktische Strömung in die warmen Gewässer ein und bewirkt ein massenhaftes Absterben von Fischen und anderen Organismen. Diese Beobachtung aus der Gegenwart ist für die Deutung geologischer Phosphatvorkommen wichtig. Andere an Kalkphosphat reiche Sedimente stellen den Übergang zu den rein kalkigen Meeresbildungen dar:

Die kalkigen Sedimente des europäischen und des amerikanischen Mittelmeeres zeigen wenig Beziehungen zueinander, abgesehen davon, daß beide den Namen Kalk nur in ganz beschränktem Maße verdienen. Das zum Teil vom Floridastrom überströmte merkwürdige Pourtales-Plateau bedeckt in 200—500 m Tiefe eine Fläche von 4000 qkm und besteht aus rein organischem, festem Gestein; kohlen-saurer Kalk (36,5%) und Kalkphosphat (über 35%) halten sich ungefähr in Zusammensetzung die Wage, dagegen treten Eisenoxyd (14,8), kohlen-saure Magnesia (10,6) und organische Substanz (1,5) zurück; Korallen, Muscheln, Echinodermen, Röhrenwürmer und Schwämme erinnern an manche Sedimente der triadischen Kalkalpen. Doch schließt der hohe Gehalt an phosphorsaurem Kalk jede Beziehung zu den aus kohlen-saurem Kalk und Magnesia bestehenden Schlerndolomiten aus (Abb. 38 und 43).

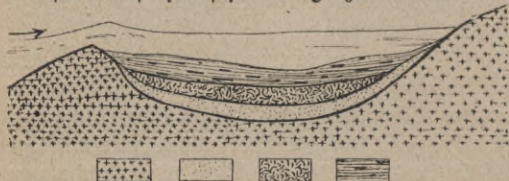
Im Gegensatz hierzu ist der hohe Kieselsäure- und der geringe Kalk-gehalt (16—20%), den das westliche europäische Mittelmeer in größerer Tiefe aufweist, mehr für einen Mergelschlud bezeichnend. Nur zwischen Sizilien und Syrien wiegt Kalkschlud (mit ca. 60% kohlen-saurem Kalk) durchaus vor.

8. Chemische Absätze des Meeres.

Durch chemisch-anorganischen Niederschlag aus dem Meereswasser werden wesentlich Salze verschiedener Zusammensetzung gebildet: Kochsalz (Chlornatrium), Gips (schwefelsaurer Kalk) und andere schwefelsaure Verbindungen, endlich Chlorkalium werden in trockenem Klima aus abgeschnürten Lagunen des Ozeans niedergeschlagen.

9. Die deutschen Kalisalzlagerstätten und ihre Entstehung.

Eines der wichtigsten Mineralvorkommen, das einzige Weltmonopol¹⁾ Deutschlands, beansprucht auch wegen der Art seiner Entstehung und Umbildung das größte wissenschaftliche Interesse. In der folgenden Darstellung, bei der ich den immer noch nicht genügend gewürdigten Arbeiten des Breslauer Forschers R. Sackmann²⁾ folge, ist von dem Absatz der Natrium- und der Kalisalze auszugehen; daran schließt sich die Umbildung der Salze unter der Einwirkung der inneren Erdwärme und die Darstellung der sehr verwickelten, ebenfalls auf chemischem Wege zu deutenden Lagerungsverhältnisse.



Grundgebirge Gips Steinsalz Anhydrit mit Salzton

Abb. 38. Bildung eines Steinsalzlagers in einem Meeresbusen hinter einer Barre.

Der Absatz der Kalisalze.

Das Zechsteinmeer Norddeutschlands verdankt seine Entstehung der aus dem arktischen Weltmeer stammenden Trans-

gression, dessen Gewässer im Laufe der geologischen Vorzeit nur selten in südlichere Breiten vorgedrungen sind. Dieses Zechsteinmeer hat stets den Charakter eines Binnengewässers bewahrt und daher eine Verbindung mit dem großen Mittelmeer im Süden der Alpen niemals er-

1) Eine unerhebliche Ausnahme sind die galizischen Vorkommen (Kaluß), während über die vor kurzem in Katalonien (bei Cardona) entdeckten Kalivorkommen noch wenig bekannt ist.

2) Sackmann, Der Salzauftrieb I., II. und III. Folge. Knapp, Halle 1911—1912. (Auch gesondert in den entsprechenden Jahrgängen der Zeitschrift Kali.) Derselbe, Hauptprobleme der Kali-Geologie. Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht IV. Bd. 1911, 5. Heft (Teubner, Leipzig), S. 225—229.

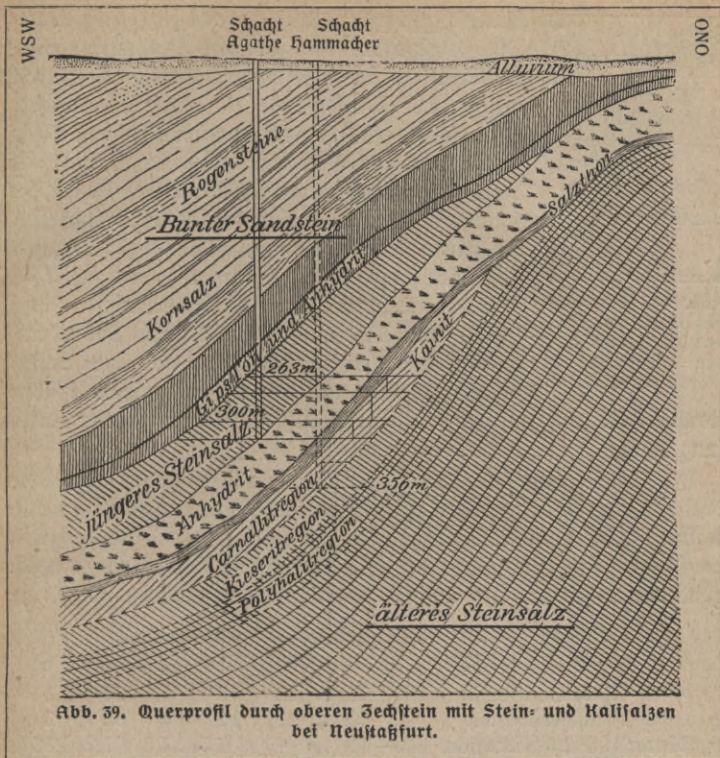


Abb. 39. Querprofil durch oberen Zechstein mit Stein- und Kalisalzen bei Neustadt.

reicht; somit bedurfte es nur eines geringen Emporsteigens des Landes im Bereiche der heutigen Ostsee, um ganz Norddeutschland von Posen und Ostpreußen bis Hannover, Braunschweig und den Südrand des Harzes und Thüringer Waldes in eine Reihe riesiger Salzpflanzen zu verwandeln. Der Karabugassee im Osten des Kaspi mit der starken Verdunstung und dem steten Einströmen des Salzwassers über die Barre führt uns die klimatischen und geographischen Bedingungen vor Augen, die damals in der Mitte von Norddeutschland herrschten. Die geographischen Bedingungen des Absatzes der Stein- und Kalisalze würden sich wiederholen, wenn die Große und die Kleine Syrte gemeinsam durch eine von Tunis nach der Halbinsel Barca reichende



Abb. 40. Nordende des Golfs von Kalifornien. Kartenskiizze der Salzpfanne von Salton Sink.

Untiefe gegen das Mittelmeer abgegrenzt würden. Die Folge wäre eine lebhaftere Verdunstung des Meerwassers in dem abgechnürten Meeresteil, welcher der Wüstensonne Nordafrikas ausgesetzt wäre, ferner ein Nachströmen immer frischen Meerwassers an der Oberfläche und ein Niedersinken der heißen und schweren Solen auf den Boden des Flachseebeckens. Schließlich müssen die Wasserschichten einen solchen Konzentrationsgrad erreichen, daß Sättigung eintritt; es sinken dann zuerst die schwerer löslichen, später die leichtlöslichen Salze, welche das Meerwasser enthält, zu Boden und setzen sich in feinsten Schichtung ab. Zum Schluß müßten die Salze und Kalisalze mit tonigem Wüstenstaub bedeckt werden, dessen Undurchlässigkeit sie vor späterer Auflösung schützt.

Die Ausscheidungen des dyadischen Salzbusens bestehen aus mindestens drei einander überlagernden Kristallisationszyklen. Der vollkommenste Zyklus ist die etwa 700 m mächtige „ältere Salzfolge“ des Zechsteinprofils von Staßfurt (Abb. 39). Sie besteht vom Hangenden zum Liegenden nach Everding und Erdmann¹⁾ aus folgenden Regionen:

| | Region | Mächtigkeit | Bestandteile in % | | | | |
|---------------------|---|-------------|-------------------|-----|-----|------|-----|
| | | | a ²⁾ | b | c | d | e |
| Oberer Zechstein | Carnallitregion | 30—40 m | 55 | 17 | 1 | 26 | 1 |
| | Kieseritregion | 20—40 „ | 13 | 17 | 3 | 65 | 2 |
| | Polynhalitregion | 40—60 „ | — | 1,3 | 3,8 | 91,2 | 3,7 |
| | Anhydritregion (besser Salz- Anhydrit-R.) | 300—500 „ | — | — | — | 92 | 8 |
| Mittl. Zechstein | Älterer Anhydrit | 70—100 „ | — | — | — | — | 100 |

1) Everding, Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. Deutschlands Kalibergbau. Festschrift zum X. Allgemeinen Bergmannstag in Eisenach und Abhandlungen der Preuß. Geol. Landesanstalt, N. F., Heft 52 (Berlin 1907), S. 29.

2) a = Carnallit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6aq$, b = Kieserit $MgSO_4 \cdot aq$, c = Polynhalit $2CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot aq$, d = Steinsalz $NaCl$, e = Anhydrit $CaSO_4$.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis eines eingedampften Meeressarmes zu den Mächtigkeiten im Staßfurter Lager (ältere Salzfolge) und ist auf Steinsalzmächtigkeit als Einheit bezogen:

| | Meeresfalze | Staßfurter Salze |
|---|-------------|------------------|
| Steinsalz | 100 | 100 |
| Anhydrit | 3,4 | 20,4 |
| Kieserit | 7,2 | 2,3 |
| Carnallit | 14 | 4,7 |
| Bischoffit ($Mg Cl_2 \cdot 6 aq$) | 23,5 | — |

Die in der Technik üblichen Ausdrücke stimmen nicht mit der mineralogisch-chemischen Abgrenzung überein. Man bezeichnet heute mit dem Namen:

| | | |
|-----------|--|--------------|
| Sylwin | ein Gemenge von Sylwin (KCl) und Steinsalz | |
| Hartsalz | " " " " | mit Kieserit |
| Carnallit | " " " Carnallit | " " |
| Hauptsalz | " " " " | " " |
| Kainit | " " " Kainit | " " |

Gar nicht erhalten sind die großen Mengen von Chlormagnesium, sowie noch eine Reihe leicht löslicher seltener Salze des Meerwassers, vor allem die Jodsalze.

Wir müssen hieraus schließen, daß während der ganzen Zeit des Niederschlags der Kalisalze die Verbindung des Salzbusens mit dem freien Meer¹⁾ noch fortbestand; hierbei konnte normales Meerwasser eindringen. Andererseits wurde der Kristallisationsprozeß unterbrochen, noch ehe die letzten Reste der Mutterlauge versteinen konnten.

Die Gliederung der deutschen Sechsteinformation umfaßt folgende Stufen:

1) Während Lachmann an eine dauernde Verbindung des abgeschnürten Busens mit dem offenen Meere denkt, deutet Rosza den Vorgang etwas anders. Auch er geht davon aus, daß im Verhältnis zu den vorhandenen Anhydritschichten das Steinsalz noch mächtiger sein müßte und nimmt an, daß ein über gewaltige Gebiete ausgedehntes Meer gleichmäßig verdunstete und die Kalilaugen sich schließlich in den tiefsten Teilen sammelten und dort ihre Salze absetzten. (Vgl. Rosza, Über die Staßfurter Salzablagerung. Zeitschr. f. anorganische Chemie 90 [1914], S. 377—385.)

| | | |
|--|--|---|
| oben: | Buntsandstein Roter Letten und Tonwaße | Vordringen (Transgression) des Meeres. |
| Oberer Zechstein. | Jüngeres Salz (Staßfurt), Anhydrit und Gips . . . Salzton (entspricht einer Bedeckung mit Wüstenstaub) Carnallit (Kalisalze) im Ausgehenden in Kainit übergehend Kieserit } Schwefelsaure Magnesia- und Polnhalit } Magnesia-Kalisalze Älteres Steinsalz oben mit Anhydritschnüren (Anhydritregion) . . . | II. Verdunstung |
| Mittlerer Zechstein. | Stinnschiefer Mittlerer Dolomit (= „Hauptdolomit“) und Rauchwaße . . . Anhydrit (älterer Gips) mit schwächeren Salzlagern | 2. Transgression I. Verdunstung |
| Unterer Zechstein. | Zechstein mit Productus horridus Kupferschiefer lokal entwickelt (besonders im Mansfeldschen) Zechsteinkonglomerat wenig mächtig, nur lokal entwickelt . . . | 1. Transgression ¹⁾ |
| Rotliegendes (kontinentalen Ursprungs) | | |

In der Anhydritregion zeigen Steinsalz (92%) und Anhydrit (8%) in auffallender Gesetzmäßigkeit die sogenannten „Jahresringe“. Sie bestehen aus feinen Schichten von Anhydrit von etwa 5—7 mm Stärke, die sich in Abständen von 8—10 cm durch die Salzmassen hindurchziehen. Sie erinnern in der Tat, besonders wenn sie eine entsprechende Krümmung aufweisen, täuschend an die Jahresringe der Bäume. Die herrschende Meinung geht dahin, daß diese Ähnlichkeit auch ursächlich begründet ist. In jedem Herbst zur Zechsteinzeit wurde bei sinkender Temperatur Steinsalz, in jedem Frühjahr bei steigender Temperatur Anhydrit ausgeschieden. Die Löslichkeit von Steinsalz nimmt nämlich mit der Temperatur zu, die von Anhydrit mit der Temperatur ab.

Die Jahresringe beherrschen auch die Polnhalitregion. In der Carnallitregion ist nur ganz ausnahmsweise (z. B. in Staßfurt) eine lagenförmige Anordnung der Komponenten Carnallit, Kieserit, Steinsalz

1) Die Transgression entspricht dem Übergreifen des Meeres über das Festland (s. Vortrag V, S. 113).

und Anhydrit zu beobachten. Vielmehr ist die weitestverbreitete Form die eines wirren Gemenges von Steinsalz, Salzton und Kieseritbrocken, welche in eine Grundmasse von Carnallit eingebettet sind. Die Brocken sind in der Regel nicht über faustgroß, erreichen jedoch in einzelnen Fällen das Gewicht von vielen Zentnern.

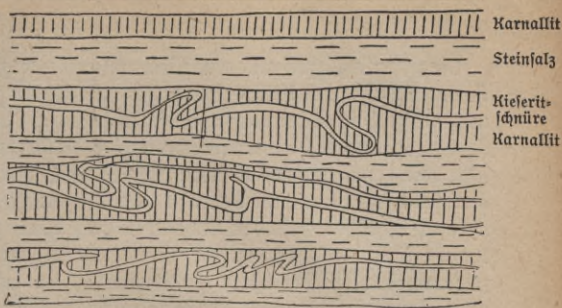


Abb. 41. Schnitt durch das Kalimutterlager des Berlepsch-Schachtes bei Staßfurt. 1 : 25. Die getäfelten Kieseritschnüre zwischen den ungestörten Steinsalzlager n bezeugen die rein chemische, nicht tektonische Umwandlung.

Lachmann hält sämtliche Kalilager für bodenständig und vermutet, daß bei der geringen Tiefe des inzwischen stark eingedampften Salzsees die Begleitsalze in der zähflüssigen, carnallitischen Chlormagnesiumlauge unter dem Einfluß der Windbewegung des Wassers als Konkretion ausgefällt wurden. Eine schichtenweise Ausscheidung ging nur in tieferen Rinnen vor sich, die den „Prielen“ unserer Nordsee-Watten vergleichbar sind.

Eine besondere Eigentümlichkeit in chemisch-physikalischer Hinsicht bieten noch die wegen ihrer leichten fabrikmäßigen Verarbeitung hochgeschätzten Hartsalze, welche streckenweise das Carnallitlager bzw. den Gemengecarnallit vertreten. Die Hartsalze sind geschichtet und bestehen aus Sylvin und Kieserit neben Steinsalz. Sylvin und Kieserit bilden sich nach van t' Hoff nur in Lösungen von 72° C und treten bei niedrigen Wärmegraden unter Wasseraufnahme zu Carnallit zusammen.

Die Erscheinung der Carnallitlager deutet auf heftige Windbewegungen, denen das endgültig vom Meer abgeschlossene Salzbecken ausgesetzt war. Den direkten Hinweis auf das Auftreten von Stürmen bildet eine Decke von grauem Salzton, welche in einer Mächtigkeit von 8—10 m die ältere Salzfolge unmittelbar bedeckt. Man hat in den Salztonschichten kürzlich eine kümmerliche marine Fauna entdeckt.

Die Umbildung der Salze im Erdinnern.

Die ursprünglichen aus dem Meerwasser niedergeschlagenen wasserhaltigen Salze und Kaliverbindungen wie Kainit und Gips sind jetzt ausschließlich in ihrer wasserfreien Ausbildung als Carnallit und Anhydrit vorhanden. Diese Umwandlung, d. h. die Austreibung des Wassers, setzt, wie erwähnt, eine Wärme von $+ 72^{\circ} \text{C}$ voraus, die in der damaligen geologischen, im Schatten einer Eiszeit stehenden Periode aus paläoklimatischen Gründen undenkbar ist.¹⁾ Nimmt man dagegen mit Arrhenius und Sachmann²⁾ eine in der folgenden Trias und Jurazeit aufgehäufte Überlagerung mit einer $1\frac{3}{4}$ km mächtigen Schichtdecke an, so konnte bei der somit 72° betragenden Erdwärme die Austreibung des Wassers und gleichzeitig infolge der Verflüssigung des Kainits eine Deformation (oder Verkrampfung) des Carnallitlagers vor sich gehen. Die betroffenen Kalisalze wandelten sich bei der kritischen Temperatur von 72° ³⁾ infolge des abgegebenen Kristallwassers zu einem Kristallbrei um, und die überlagernde Masse konnte z. T. in den Brei einsinken. Die nicht aufgelösten Schichten wurden entweder zu Gemenge- (oder Konglomerat-)Carnallit zerstückelt, oder in verschlungene Falten gelegt, die jedoch mit Gebirgsfaltung keinerlei Ähnlichkeit haben.

Der chemische Kreislauf schließt sich, wenn die wasserfrei gewordenen Mineralien nach Entfernung der Sedimentdecke wieder mit atmosphärischem Wasser in Berührung treten; dann entsteht aus dem (sekundären) Carnallit und Anhydrit wiederum (tertiärer) Kainit und Gips.

Die Lagerungsverhältnisse der Stein- und Kalisalze zeigen vor allem zwei eigenartige, der Erklärung bedürftige Phänomene:

1) Der berühmte, von geologischer Seite nicht ganz glücklich beratene Chemiker van t'Hoff setzte diese Wärme an der Wende von Dyas- und Triaszeit voraus; tatsächlich herrschte damals nicht mehr als $+ 10^{\circ}$ mittlere Jahreswärme.

2) S. Arrhenius und R. Sachmann, Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. (Geol. Rundsch. 1912, 3, S. 139—157.) S. Arrhenius, Über die physikalischen Bedingungen bei den Salzablagerungen zur Zeit ihrer Bildung und Entwicklung. (Kali 1912, 15, S. 361—365)

3) Bei 83° schmilzt in Gegenwart von NaCl der Kainit, bei 117° der Bischoffit. Vgl. Jaenecke, Entstehung der deutschen Kalisalzlager, Braunschweig 1915.

1. Einmal sind die mächtigen Salzmassen in sich fast überall auf das heftigste bis zum Ausmaß von Hunderten von Metern aus ihrer Ruhelage verbogen, auch da, wo die darüber und darunter befindlichen Schichten ganz ungestört liegen.

2. Fast noch auffälliger ist die Erscheinung großer senkrechter Salzstöcke von unregelmäßiger, häufig runder Begrenzung im norddeutschen Tiefland, beispielsweise bei Helgoland, Lüneburg, Wiehe, Salz-

wedel, Lübbtheen in Mecklenburg, Sperenberg bei Berlin, Hohensalza in Posen und an andern Orten. Die Steinsalzstöcke dieses Gebietes sind so mächtig, daß ein Bohrloch von über 1100 m Tiefe bei Staßfurt noch nicht den Grund des Salzes erreichte. Bei Sperenberg traf ein Bohrer schon bei 80 m Tiefe auf das Salz, ohne es bei 1200 m durchbohrt zu haben.

Laumann hat auf Grund umfassender Befahrungen den Nachweis erbracht¹⁾, daß alle diese Deformationen durch Wirkung chemisch-physikalischer Kräfte erklärt werden müssen. Die innere Verbiegung der Schichten ist nach ihm durch wiederholte Kristallisation, durch Hinwandern der Salzkristalle von Ausscheidungs- zu Lösungsräumen bei der ständig wechselnden Durchfeuchtung der Salzmassen im Laufe der geologischen Perioden entstanden. Die Rekristallisation beruht darauf, daß ein Salzkristall bei der Berührung mit seiner gesättigten Lösung an der Stelle des größeren Druckes schwindet, um an dem Punkte der

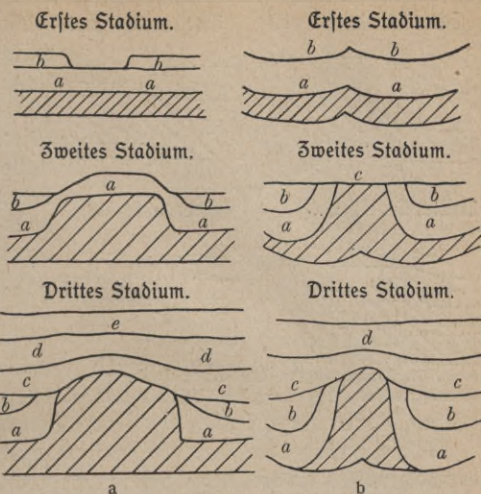


Abb. 42. a) Ein durch Talbildung bedingtes Chzem wird einmal transgrediert und erstickt. b) Ausbildung eines Reihenzhems auf einem Sattelgrat. Einmalige Transgression und Erschöpfung.

3) R. Laumann, Über autoplaste (nicht tektonische) Formelemente in den Salzlagerstätten Norddeutschlands, Monatsberichte der Deutschen Geol. Ges. 1911, Bd. 62, S. 113—116.

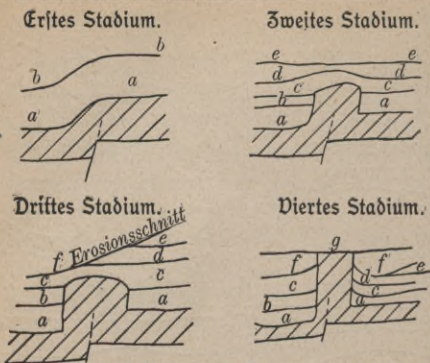


Abb. 43. Reiheneckzern auf einer Verwerfung. Transgression, Erstickung und Wiederaufleben.

großen Blöcken umgeben, der aus Bruchstücken des Nebengesteins besteht.

Bei gleichzeitiger kontinentaler Senkung erfolgt nun ein Emporsteigen der Salzmassen an Stellen geringeren Widerstandes (Salzauftrieb) und ein Emporheben des Deckgebirges. Bei dem Auftrieb der gewaltigen Salzkörper durch die Erdoberfläche entstehen Bilder, welche den Geschwüren in der tierischen Haut ähnlich sind, und welche Lachmann daher mit dem Namen „Etzeme“ belegt hat.

Die übereinstimmenden, längst bekannten Beobachtungen, daß in Siebenbürgen, ebenso wie im Wallis und der Salzkette Nordwestindiens stockförmige Salzmassen von rundem Querschnitt scheinbar durch die Gebirgsschichten hindurchgetrieben seien, werden durch solche aus Texas und Louisiana, ferner aus Algier und Katalonien (Salzberg von Cardona) vervollständigt. Überall kehrt die Beobachtung wieder, daß eine oft sehr mächtige Masse von Salz, die häufig von einer Gipsdecke geschützt ist, durch die Schichten der Erde ebenso hindurchgespießt wurde, wie etwa ein Stahlpflock durch eine Eisenplatte hindurchgetrieben wird.

Die im neunzehnten Jahrhundert zur Herrschaft gelangte Lehre, nach welcher Erdbeben- und Gebirgsbildung von dem Vulkanismus grundsätzlich verschieden sind, hat sich gänzlich erfolglos an dem Problem der deutschen pseudoeruptiven Salzstöcke versucht. Auch in Norddeutschland ist die Lagerung über den Salzstöcken oft außerordentlich stark gestört, und ferner steht die oft 1 km und mehr betragende Höhe dieser Salzstöcke außer Verhältnis zu dem geringen Durchmesser.

geringeren Belastung zu wachsen. (Diese Rekristallisation erinnert an ähnliche Vorgänge beim Schmelzen und Wiedergefrieren der Eiskristalle im Gletscher.) Die Wanderung des Salzes und Anhydrits erstreckt sich (nach Harbort) auf das jüngere Nebengestein, das in seinen porösen Teilen bis 9% NaCl enthält. Außerdem ist das Salz von einem Reibungsmantel aus wenig veränderten bis 1 cm

Der Versuch, die Fortdauer der alten, der Steinkohlenzeit Deutschlands angehörenden Gebirgsbildung ausschließlich für die Entstehung dieser eigentümlichen Lagerungsformen verantwortlich zu machen, ist jedenfalls mißglückt. Es liegt vielmehr — wie Lachmann nachweist — sowohl in den Einzelheiten wie in der allgemeinen Verteilung der „Ezeme“, scheinbar eruptiven Salzkörpern eine von der Gebirgsbildung durch-

aus abweichende Erscheinung vor. Insbesondere kehrt die gefröseartige oder an Gehirnwindungen erinnernde Verschlingung der Salzsichten nirgends in den Faltengebirgen wieder, wo der Gebirgsdruck die Ursache aller Lageveränderungen der Erdrinde ist.

Nur teilweise ist ein mittelbarer Einfluß des Gebirgsbaus wahrzunehmen, als Schwächezonen der Deckschichten den ersten Anstoß für die Lösungs- und Rekristallisationsvorgänge abgeben. Diese Schwächezonen sind entweder Bruchlinien, auf denen der unterirdische Wassercumlauf leichter vor sich geht, oder aber tiefer eingeschnittene ältere Flußläufe, die ebenfalls eine Entlastung der Erdschichten bedingen. Die Verbreitung der Ezeme folgt daher — z. B. in Norddeutschland — häufig den Leitlinien des Gebirgsbaus, anderwärts aber, so in Siebenbürgen auch unregelmäßig verzweigten an Flußsysteme erinnernden Linien.

Die mächtigen Steinsalzmassen sind spezifisch leichter als alle übrigen Gesteinsarten des Erdinnern. Jede durch Talbildung oder eine noch so geringfügige tektonische Störung hervorgerufene Gleichgewichtsstörung des Erdinnern bedingt also zunächst einen (isostatischen) Auftrieb der Salze und Kalisalze, dann aber weiter die durch Bergfeuchtigkeit bedingte Lösung und Rekristallisation; erst in der Zone des Grundwassers findet eine totale Auflösung des Salzes statt.

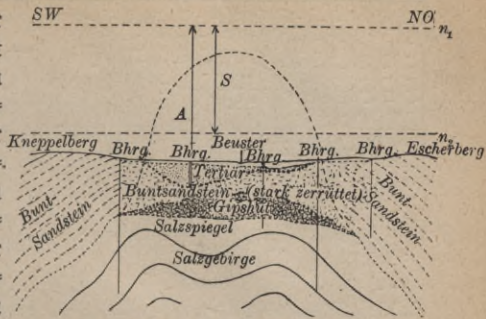


Abb. 41. Profil durch den Hildesheimer Wald nordwestlich von Diekholzen. S = Betrag des Salzauftriebs. A = Betrag der Auflösung. n_1 = Tertiäre Landoberfläche, von Stille rekonstruiert, auf Grund einer Berechnung von A. n_2 = Wahrscheinliche Lage der tertiären Landoberfläche.

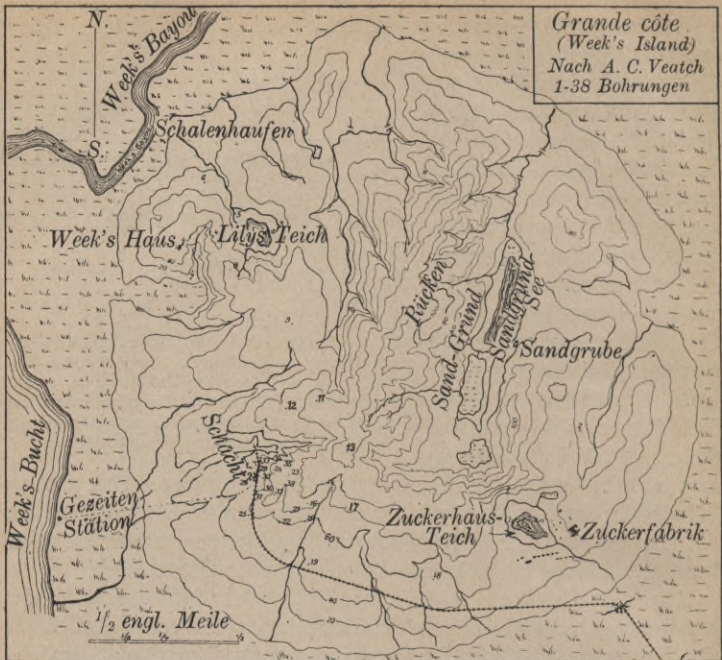


Abb. 45 Salzkzern am Mexikanischen Golf. Die Isohypsen zeigen die Erhebung über die vollkommen flache Ebene.

Der Salzspiegel.

Das Aufsteigen der Salzkzeme geht in dem nur 3. T. durchfeuchteten Gebirgsinnern so weit vor sich, bis das Salz in den Bereich des überall vorhandenen Grundwassers gelangt. Die vollständige Lösung und Fortführung durch das Grundwasser bewirkt die Entstehung einer jeweils in bestimmter Tiefe liegenden geradlinig abgeschnittenen Grenzfläche, des „Salzspiegels“ (Fulda). Der Salzspiegel liegt meist etwa 20—30 m tief unter Tage.¹⁾

Vor allem ist der Nachweis wichtig, daß bedeutende Verschiebungen innerhalb der Erdrinde lediglich durch lokale chemisch-physikalische Einwirkung, nicht aber durch den allgemein wirkenden Gebirgsdruck ent-

1) Vgl. R. Lachmann, Zeitschr. f. prakt. Geologie 21 (1913), S. 28.

stehen; hierfür sind besonders die Beobachtungen zahlreicher Etzeme in den gänzlich ungestörten, den Merikanischen Golf umgebenden jüngeren Schichten von überzeugender Kraft. Die beigegefügtten Bilder (Abb. 46 bis 49) von Etzemen aus Siebenbürgen, Nordamerika und Norddeutschland geben eine Anschauung von der Erscheinungsform dieser sonderbaren geologischen Phänomene.

Der Aufschluß im Allertal (Abb. 49)¹⁾ ist als ein ausschlaggebender Beweis dafür zu betrachten, daß hier, bei einem der wenigen völlig aufgeschlossenen Vorkommen Deutschlands die direkte Einwirkung tektonischer Druckkräfte auf die Deformation der Salzlager keine Rolle spielt. Die allgemeine Verbreitung, welche die Salzetzeme (oder Atromorphen) außer in Norddeutschland in den Alpen, Siebenbürgen, Rumänien, Südfrankreich, Katalonien, im Atlas, in Texas und Louisiana und vielleicht auch in Sibirien besitzen, zeigt, daß es sich um eine bei allen mächtigen Salzlagerstätten allgemein verbreitete Erscheinung handelt.

Voraussetzung ist allerdings, daß die betreffenden Salzlagerstätten 1. mächtig sind und 2. von einer undurchlässigen Lage wasserdicht nach unten abgeschlossen werden. Die in das Salz eindringenden Gewässer besitzen dann keinerlei Austritt nach unten und sind daher beim Auftre-

1) W. Kirschmann, Die Lagerungsverhältnisse des oberen Allertales zwischen Morsleben und Walbeck. (Zeitschr. f. prakt. Geol. 21[1913], S. 1-27.)

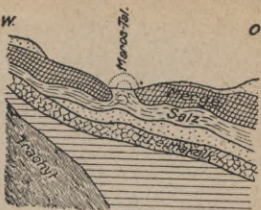


Abb. 46. Salzetzem in Siebenbürgen am Marosfluß.

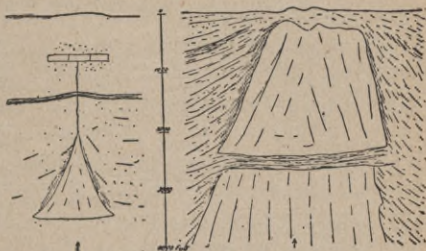


Abb. 47. Profil des Salzetzems Petit Anse, Süd-Louisiana.

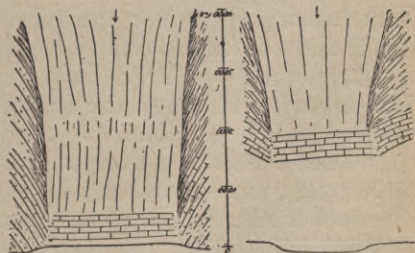
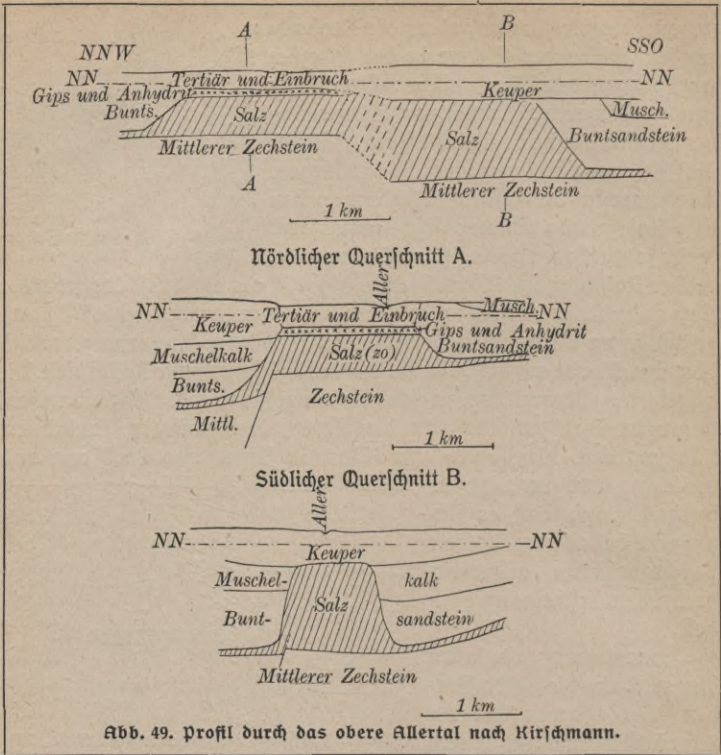


Abb. 48. Profil des Salzetzems Drake's Saline, Nord-Louisiana.



ten irgendwie gearteter Druckunterschiede zum Aufstieg gezwungen. Ist erst einmal ein geringer Druckunterschied vorhanden, so strebt das leichte Salz von allen Seiten dem höchsten Punkte zu.

Maßgebend für die Begründung der Lachmann-Arrhenius'schen Anschauungen sind die Einzeluntersuchungen, welche im Allertal¹⁾ und im nordhannoverschen Flachland die Richtigkeit der Theorie nachwiesen: Das Allertal bildet den Übergang des deutschen Mittelgebirges zur Ebene; die nordwestdeutschen Gesteine des Zechsteins, der Trias- und Juraformation werden vorwiegend von Quartär bedeckt. Unter dem

1) Waldemar May, Zur Stellung des Salzkörpers von Einigkeit bei Fallersleben im Schichtenverbande des Deck- und Nebengebirges. (Neues Jahrbuch, Beil.-Bd. 40 [1915], 51—76; 8 Textfig., 1 Profil.)

oberen Allertal liegt 200—400 m unter der Talfläche ein gestreckter prismatischer Sechsteinsalzblock von annähernd 35 Kubikkilometer Inhalt; darunter lagert ungestört der mittlere Sechstein.

Wichtig ist nun zunächst der von W. Man erbrachte Nachweis, daß die durch Tiefbohrlöcher zwischen Fallersleben und Ehme ermittelte Lagerung genau denselben regelmäßigen Charakter trägt wie im eigentlichen Bergland, wo die Aufschlüsse über Tage überall das Fehlen einer allgemeinen Faltung verbürgen.

Für die Frage der lokalen, mit Salzauflösung und Kristallisation zusammenhängenden Störungen ist die Altersbestimmung der Dislocationen wichtig. Man nimmt vielfach an, daß erst von der oberen Jurazeit an die angebliche „Faltung“ einsetzte.

Außerordentlich beachtenswert ist nun der Nachweis, daß in der Grube „Einigkeit“ die Bewegung des Salzkörpers schon während der mittleren Keuperzeit zum Abschluß gekommen ist. In dem Schacht der Grube Einigkeit zeigt das Steinsalz die stärksten gefröseähnlichen (nicht auf Faltung zurückführbaren) Lageveränderungen und ist in diesem Zustand in den ungestört lagernden Gipskeuper eingedrungen. Hieraus ergibt sich, daß dieses exzematistische Aufquellen schon während der Keuperzeit stattfand und auch in dieser Periode abgeschlossen wurde.

Für den Praktiker ist der Nachweis, daß die Bewegungen des Salzgebirges in einem wichtigen Kaliegebiet seit der oberen Triaszeit fast vollkommen zur Ruhe gekommen sind, von großer Bedeutung. Gegenwart und Zukunft des Bergbaus hängt von dieser Frage ab. Wäre die von anderer Seite ohne hinlängliche Begründung aufgestellte Hypothese zutreffend, daß nämlich das Salzgebirge demnächst „einen Ruck nach oben machen und inmitten des oberen Jura erscheinen würde“ (Stille), so stände es schlimm um die Zukunft der Kaliwerte jenes Gebietes. Denn ein solcher „Ruck“ würde zahlreiche neue Einzugswege für die Tagewässer öffnen und damit den Bergbau aussichtslos machen.

Anders liegt die Sache, wenn seit den 30 Millionen Jahren, die seit der oberen Trias verflossen sind, die Salzbewegungen zum Abschluß gelangten. Man hat somit auch die praktische Frage einwandfrei und in günstigem Sinne für die Zukunft des Bergbaus beantwortet. Noch weiter nördlich im eigentlichen nordhannoverschen Flachlande liegen die Kalischächte der Linie des Steinhuder Meeres.

Mit dem Namen „Steinhuder Meerlinie“¹⁾ bezeichnet man eine ca. 35 km von SO nach NW verlängerte und 2—4 km breite Hebungszone im Westen der Stadt Hannover. In ihrem Verlauf wurden neben Trias, Jura und der kohlesführenden Wealdenformation auch die Kalisalze des Zechsteins in abbauwürdige Teufen emporgedrückt. Auf diese Kalisalze bauen heute die Bergwerke „Sigmundshall“ (Bokeloh bei Wunstorf) und „Weser“ (Altenhagen am Steinhuder Meer).

Der im Kern der Linie stehende Salzpfeiler verbreitert sich in nordwestlicher Richtung bis auf 2 km. Die tektonische Veranlassung der Steinhuder Meerlinie bildet nach Sachmann ein Sattel ähnlich dem Deister. Diese Schollenbewegung fällt, nach der flachen Lagerung des Tertiärs (Oligozän) über gestörter Kreide zu urteilen, in die Zeit zwischen Ablagerung der Kreide und des Oligozäns.

Beim Absinken der Schollen kommt eine Schleppung an den Verwerfungen zustande. Infolge hiervon ist der Auftrieb des Salzes in der Mitte der Scholle zunächst nur wenig größer; sobald es aber die Durchbiegung zu vermehren vermag, wächst der Druck und führt zu dem Vorseilen des Kernes und schließlich zur „Durchspießung“. Die Salzseen Anatoliens und ihre Bedeutung für das Problem der Entstehung der Salzstöcke der Erdrinde.

Das ausgedehnte Innere Anatoliens besitzt im überwiegenden Teile keinen Abfluß nach dem Meere und ist somit reich an dauernden und an periodisch austrocknenden Binnenseen. Der Charakter dieser Binnengewässer ist außerordentlich verschieden:

1. In den randlichen Teilen des abflußlosen Gebietes finden wir nur Süßwasserseen, die periodisch vertrocknen — wie den Ebergöl bei Eregli — und solche, deren Wasserfläche das ganze Jahr hindurch Bestand hat.

2. Im abflußlosen Innern umgeben Steppen und Wüsten die Salzseen, deren Ausdehnung nach dem Maß der Niederschläge in den Jahreszeiten ebenso wie in längeren Perioden schwankt. Die inneren Salzseen liefern seit langer Zeit das Steinsalz, das als Staatsmonopol von der Dette publique gewonnen und auf Kamelsrüden verfrachtet wird. Die abflußlosen Süßwasserseen dienten im Altertum dagegen als das unerschöpfliche Reservoir für die Bewässerung der blühendsten Provinz des römischen Reiches mit ihren 500 Städten. Erst in den letzten

1) Theodor Albrecht, Die Steinhuder Meerlinie. Diss. (Technische Hochschule) a. a. O. Berlin 1915.

Jahren ist durch deutsche Intelligenz und deutsches Kapital die Ableitung der Wassermassen des Sees von Karaviran nach der Ebene von Konia ausgeführt und damit eine Wiederbelebung des verödeten Inneren in die Wege geleitet worden.

Von den Salzsteppen des Inneren unterscheiden sich die Becken des peripheren Teiles der Ebenen durch das Fehlen des Salzes. Wahrscheinlich wurde der Salzgehalt nicht etwa durch die intensive Drainage der Pluvialperiode ausgelaugt, sondern war hier überhaupt niemals vorhanden.

Nach den Analysen¹⁾ hat das Wasser in dem großen Salzsee Tuz-tchöllü einen Salzgehalt von 32,2%(!) und dürfte also in der Konzentration alle anderen Binnenseen übertreffen. Das Tote Meer hat nur 21,7% Salzgehalt, die Salzpfanne des kaspischen Busens Karabugas 28,5. Tschichaschew berichtet über den Tuz-tchöllü, daß er sich im Juli des Jahres 1848 mit einer stellenweise bis auf zwei Meter dicken Salzkruste bedeckt habe. Diese weiße Decke, welche von den grünenden Hügeln des Rhodscha-Dagh ungeheuer grell abstach, war stark genug, um die Last eines Pferdes zu tragen; an mehreren Stellen konnte der See sogar trockenen Fußes überschritten werden.

Im Innern Kleinasiens dauert die pliozäne Festlandsperiode noch heute fort. Das Salzbecken des Tuz-tchöllü ist allerdings nur ein sehr bescheidenes Überbleibsel jenes großen Binnensees.

In allgemein-geologischer und geographischer Hinsicht läßt sich in Anatolien das Problem lösen, ob die abflußlosen Gebiete überall einen Salzsee umgeben, oder ob die Anhäufung von Salzen in diesen Zentren auf lokalen geologischen Verhältnissen d. h. auf dem Vorhandensein von Steinsalz in schon vorhandenen geologischen Schichten des Innern beruht.

Bekanntlich wird immer wieder versucht, alle Salzstöcke der Erdrinde, ja sogar die Hunderte von Metern mächtigen Lager Deutschlands, auf den Absatz im kontinentalen Innern und nicht auf die Verdunstung in abgeschürften Lagunen und Randbecken des Ozeans zurückzuführen. Da sich in Kleinasien, d. h. in einem gut zugänglichen, wenn auch wenig erforschten Lande der Nachweis erbringen läßt, daß sich das Salz abflußloser Seen nur im Bereich der ohnehin salzreichen

1) Naumann, Vom Goldenen Horn zu den Quellen des Euphrat, S. 376 und 372.

Schichten ansammelt, so ist damit einer zu Bedenken Anlaß gebenden Hypothese die Unterlage entzogen.

Ergebnisse.

1. Die wiederholte Eindampfung der norddeutschen Salz- und Kalisalzlager erfolgt aus Meeresteilen am Schluß der Jechsteinzeit in einem gemäßigten, aber sehr trockenen Wüstenklima. Für mächtigere Salzablagerungen kommen abflußlose Binnenseen niemals in Betracht.
2. Die Wasserentziehung des ursprünglich wasserhaltigen Gipses, des Kainits usw. erfolgte unter dem Einfluß der Erdwärme in großer, ca. 2 km betragender Tiefe.
3. Die Lagerungsform der alle jüngeren Gebirgsschichten in Form zylindrischer oder unregelmäßiger Salzstöcke durchstoßenden Ekzeme (Lachmann) ist nicht nur in Deutschland nachgewiesen, sondern weltweit verbreitet. Sie hat mit der Gebirgsfaltung nichts zu tun, sondern erfolgt über Lockerungszonen der Erdrinde, die durch tektonische Bruchlinien oder alte Flußtäler vorgezeichnet sein können.
4. Die treibenden Kräfte sind:
 - a) das geringere Gewicht des Steinsalzes, das einen Auftrieb im Sinne jeder Lockerungszone zeigt;
 - b) die durch einen Mantel jüngerer Reibungsgesteine und durch die weite Verbreitung von Salz und Gips im jüngeren Nebengestein angedeutete Wanderung (Retristallisation) der Salze, die an die Auflösung und das Wiedergefrieren der Eiskörner im Gletscher erinnert.
5. Der Beweis für das Fehlen echter tektonischer Kräfte bei dem Aufsteigen der Steinsalzwasser (der Ekzembildung) ist:
 - a) die ungestörte Lagerung des tieferen Untergrundes (bei Staßfurt, im Allertal, Teutschentaler Sattel);
 - b) die auf Pendelbeobachtung beruhenden Schweremessungen: Während echte (tektonische) Gräben einen Massenüberschuß zeigen (Rheintal und ostafrikanischer Graben), verhalten sich die durch Einsturz des Deckgebirges über ausgelaugtem Steinsalz entstandenen Ekzemgräben gerade umgekehrt.

10. Die verschiedenartigen, gleichzeitig gebildeten Meeresablagerungen (Faciesbildungen) der Vorzeit.

Die gleichzeitig unter verschiedenen Bedingungen, d. h. in verschiedener Tiefe aus abweichenden Sedimenten und von mannigfachen Tieren gebildeten Absätze der Vorzeit besitzen verschiedenartiges Aussehen („Facies“) und werden daher in der Geologie als Faciesbildungen bezeichnet. Aus jüngeren Absätzen der Erdgeschichte wie dem Tertiär sind beinahe nur terrigene Ablagerungen und vor allem solche des flachen Wassers bekannt. Je weiter wir rückwärts gehen, um so mehr treten auch Gebilde des tieferen Meeres in den Vordergrund. Nur die Bildungen der Globigerinenkreide und der Kieselschiefer zeigen einige Ähnlichkeit mit den Tiefseeabsätzen der Gegenwart, dagegen wird durch die in den entlegenen Perioden immer mehr wachsenden Abweichungen der Organismen eine Verschiedenheit von den Faciesgebilden der Gegenwart bedingt. Nur die geschichteten und ungeschichteten Korallenbildungen (Vortrag IV) zeigen eine gewisse Gleichartigkeit.

In dem Handbuch der Erdgeschichte (*Lethaea geognostica*), das der Verfasser in Verbindung mit anderen Gelehrten herausgab, finden sich vollständige¹⁾ Übersichten der Meeresabsätze der verschiedenen Perioden. Aus der umfassenden Übersicht sei hier nur auf die kurze Angabe der Meeresabsätze der Steinkohlenformation hingewiesen²⁾, deren kontinentale oder Kohlenbildungen im II. Bändchen, Vortrag I geschildert werden.

Vierter Vortrag.

Korallenriffe und Kalkbildung.³⁾

Es gibt keine Erscheinung, welche uns einen besseren Begriff von der Richtigkeit der Grundanschauung moderner Geologie geben könnte, als die Bildung und das Wachstum der Korallenriffe. Die Summierung geringfügiger Einzelarbeit zu gewaltiger Massenwirkung im Laufe unermesslich langer Zeiträume — das ist die große Lehre, die durch die Tätigkeit der Korallentiere versinnbildlicht wird.

Das gewaltige Ausmaß geologischer Umwälzungen lernen wir am

1) Nur die Tertiär- und Juraformation ist noch nicht in Angriff genommen.

2) Steinkohlenformation, S. 266—268.

3) Nach F. Frech, Korallenriffe und ihr Anteil an dem Aufbau der Erdrinde („Himmel und Erde“ 1896, S. 97), unter Berücksichtigung neuerer Forschungen bearbeitet.

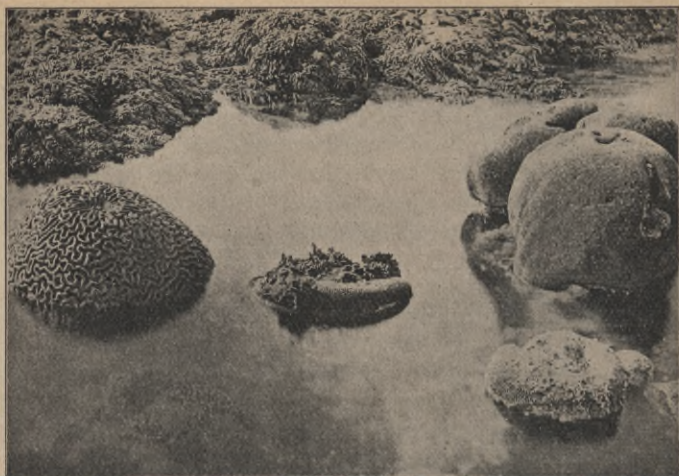


Abb. 50. Korallenwachstum in dem großen australischen Saumriff. Links in der Mitte die goldbraune *Symphyllia* mit gewundenen (konfluenten) Kelchen, rechts *Goniastraea* mit deutlich begrenzten Individuen.

besten schätzen, wenn wir in dem Gestein hochragender Berggipfel der Alpen die Hartteile mariner Lebewesen nachweisen. Die Kalkmassen, die seit Beginn der geologischen Zeitrechnung, d. h. seit der Entstehung erhaltungsfähiger Organismen im Meere und im Süßwasser zum Absatz gelangten, sind ausnahmslos direkt oder indirekt von Tieren oder Pflanzen gebildet worden (Abb. 50). Eine organische Kalkbildung findet auf direktem Wege statt, wenn die kalkigen Hartgebilde der Korallen oder der Schalthiere nach mehr oder weniger bedeutenden chemischen Veränderungen zu Stein erhärten.

Von einer indirekten Anteilnahme der Organismen an der Entstehung von Kalk kann gesprochen werden, wenn die Meeresbrandung die tierischen und pflanzlichen Kalkskelette zu Sand oder Schlamm zerreibt und nun die freie Kohlensäure des Wassers den Kalk auflöst. Sobald der Kalksand sich schichtenartig absetzt und erhärtet oder der aufgelöste Kalk aus dem lokal übersättigten Meerwasser durch die Vermittlung zeretzter organischer Substanz ausgefällt wird ¹⁾,

1) Bei der Zersetzung organischer Substanz entsteht im Meerwasser Ammonium- und Natrium-Karbonat; durch diese Salze wird schwefelsaurer Kalk zerlegt und kohlensäurer Kalk neu gebildet.

bildet sich organogener Kalk, in dem die erkennbaren Reste organischer Wesen nur noch vereinzelt sichtbar sind; ebenso werden Sandkörner durch den Kalkniederschlag rasch verkittet.

Feste Ausscheidungen, in denen der neugebildete kohlen saure Kalk teils als Rogenstein, teils als Steinkruste oder als Bindemittel der in der Tiefsee abgesetzten Schichten auftritt, kommen nach E. Philippi¹⁾ in den wärmeren Meeren der Gegenwart, und zwar vor allem dort vor, wo sich ein lebhaftes organisches Leben findet. Abgesehen von den Riffalken und den Kalkschichten nimmt der leider zu früh gestorbene Forscher auch für die weiße Schreibkreide einen chemischen Kalkniederschlag in Pulverform an. Bei Bildung der Rogensteine oder Oolithe werden auf chemischem Wege konzentrische Kalklagen um ein Quarz-, Feldspat- oder Magneteisensteinkörnchen abgeschieden, wie dies von L. v. Buch auf Gran Canaria, von Dana auf pazifischen Koralleninseln, von A. Agassiz auf den Key-Inseln westlich von Florida und von vielen anderen beobachtet wurde. Auch hier spielen die in Tropenmeeren dem Seewasser zugeführten Ammonium- oder Natrium-Karbonate eine Hauptrolle. Die sehr viel größere Verbreitung von Oolithen in geologischer Vorzeit (Oolith = Jura-Formation) beruht jedenfalls auf dem Vorwalten höherer Wärme auf der Erde.

Im Zusammenhang mit der raschen Verfestigung durch chemische Kalkabscheidung erfolgt stellenweise auch in der Gegenwart Dolomitbildung (S. 108). Wichtig für die Entstehung des Dolomits in Korallenriffen ist eine wenig beachtete, von mir vor Jahren am Richthofenriff in Südtirol (Abb. 53) gemachte Beobachtung. Hier zeigen nur die in dem reinen Riff vorkommenden Korallen einen Magnesiumgehalt, und zwar um so mehr, je größer der Abstand von den tonigen Hüllschichten des Riffes ist. Die in die Mergel der Riffhülle eingebetteten Korallen (*Thecosmilia badiotica* Frech) bestehen dagegen aus reinem kohlen sauren Kalk und zeigen die Struktur des Korallenskeletts in vollkommener Deutlichkeit.

Der dichte Kalk der jüngeren und älteren geologischen Formationen unterscheidet sich fast stets von den mehr oder weniger körnigen Gesteinen, die man als Marmor im engeren Sinne bezeichnet und in den ältesten Gesteinen der Erdrinde (im Glimmerschiefer und Tonglimmerschiefer)

1) Über Dolomitbildung und chemische Ausscheidung im Kalk (N. Jahrb. Geol. 1907 S. 444). Diese Ausführungen entsprechen im wesentlichen den Ansichten meines 1906 veröffentlichten Aufsatzes.

antrifft. Diese „Urkalke“ sind wohl vorwiegend chemische Ausscheidungen aus den ältesten, des organischen Lebens entbehrenden Meeren.

In den Ablagerungen der heutigen Meere sind Kalke mit undeutlich erhaltenen oder gänzlich fehlenden organischen Resten nicht selten; diese der organischen Struktur entbehrenden Kalke werden um so häufiger, je weiter wir in der Reihe der geologischen Schichten abwärts steigen. Denn die in der Erdrinde erfolgenden chemischen Umsetzungen bedingen die Vernichtung der organischen Strukturformen.

Jede marine Tier- oder Pflanzengruppe, die ein Kalkskelett abscheidet, kann unter günstigen Bedingungen Gestein bilden. Wir kennen Austernbänke aus der Jetztwelt so gut wie aus allen Perioden der Erdgeschichte bis zur Liaszeit (s. S. 137) abwärts; andere Kalke bestehen aus den Gehäusen der Moostierchen oder Bryozoen, der Seeigel, Spongien, Trinoiden, Kephälopoden und Kalkalgen; andere Bildungen sind zusammengesetzt aus den abgerollten Knochen von Fischen (Knochenbreccien = „bone-bed“).

Unter den Meereskalken der Jetztzeit treten Globigerinen- und Korallenabsätze hervor: Jene beanspruchen durch bedeutende horizontale Ausdehnung, diese durch die auf einzelne Punkte konzentrierte gewaltige Mächtigkeit hervorragende Bedeutung. Gelegentliche Anhäufung des landwirtschaftlich wertvollen phosphorsauren Kalkes geht auf das bei manchen Brachiopoden beobachtete Kalkphosphat¹⁾ zurück:

| | I. <i>Terebratulina septentrionalis</i> Gray | II. <i>Lingula anatina</i> Gmel. (Japan) |
|---|--|--|
| SiO ₂ | 0,52 | 0,91 |
| (Al, Fe) ₂ O ₃ | 0,15 | 0,54 |
| MgCO ₃ | 1,37 | 2,70 |
| CaCO ₃ | 96,78 | 1,18 |
| CaSO ₄ | 1,18 | 2,93 |
| Ca ₃ P ₂ O ₈ | Spuren | 91,74 |
| | 100,00 | 100,00 |

Der der Schreibkreide vergleichbare Globigerinenschlamm ist das Produkt der kleinsten, im offenen Meere herumschwimmenden Lebewesen, der Foraminiferen, vor allem der Gattung *Globigerina*; sie nimmt in größerem oder geringerem Prozentsatz an der Zusammensetzung eines jeden marinen Kalkes teil, erscheint aber als ausschließlicher Sedimentbildner nur in den großen Meerestiefen.

1) S. W. Clarke und W. C. Wheeler, The Composition of Brachiopod Shells. (Proc. Nat. Ac. Sc. 1, 1915, 262—266.)

1. Bemerkungen über die Bildung der Korallenriffe der Jetztzeit.¹⁾

Während die Globigerinenerde über 105,6 Millionen qkm des heutigen Meeresbodens ausgebreitet ist, tritt Korallenschlick und Korallensand nur auf dem Raum von etwa 10 Millionen qkm auf. Innerhalb des Gebietes der Iosen, durch die Meeresbrandung aufbereiteten Korallenabsätze finden sich Korallenbauten in einer Mächtigkeit von tausend, ja Tausenden von Metern (Abb. 51).

Der zoologische Ausdruck Koralle entspricht nur zum Teil der roten, im Mittelmeer lebenden Edelkoralle (*Corallium rubrum*). Dieses zu Schmuckgegenständen verarbeitete rote Gebilde ist das innere Achsenskelett einer Gattung, die in fossilem Zustande selten ist und, wie schon ihr Wert andeutet, auch in der Jetztzeit nicht als Gesteinsbildner in Betracht kommt. Die grau oder weiß gefärbten Riffkorallen sind äußere Skelette, in deren becherförmigen Höhlungen das Tier Schutz fand. Einzelkelfche von meist bedeutender Größe, welche für die Aufnahme eines Einzelwesens dienen, sind seltener als die der sehr mannigfaltig gestalteten Korallenstöcke (Abb. 51), in denen zahlreiche, meist kleinere Individuen miteinander verwachsen sind.

Nur unter bestimmten Wärmeverhältnissen (nicht unter 20° C mittlerer Jahrestemperatur), in reinem Meereswasser und bis zu einer Tiefe von höchstens 40 m abwärts finden die Riffkorallen die für ihr Gedeihen notwendigen Bedingungen. Das an diese geringe Meeres-tiefe geknüpfte Wachstum der Riffkorallen beruht in letzter Instanz auf der Symbiose der Korallentiere mit lichtbedürftigen Algen. Nur vereinzelt gehen zweifellose Riffbildner bis zu 80 m abwärts.²⁾ Die wenigen Ausnahmen bestätigen die obigen Regeln; nur in drei Fällen wurden lebende Korallen noch in brackischem oder gar in süßem Wasser³⁾

1) Die Bildung der Korallenriffe in der Jetztzeit wird hier nur so weit berührt, als es das Verständnis der geologisch älteren Riffe erfordert.

2) Auch in der Tiefsee finden sich Korallen, meist Einzelkorallen, seltener schwachverästelte Bäumchen von geringer Größe. Schon der geringfügige Betrag der abgesetzten Kalksubstanz macht die Entstehung mächtiger Ablagerungen unmöglich. Eine für die Entstehung kalter Sedimente in Betracht kommende Ablagerung von Korallen und anderen Tiefseetieren wurde bisher nur auf dem sog. Pourtales-Plateau (S. 73), einer aus größeren Meerestiefen bis zur Höhe von einigen hundert Metern unter dem Wasserspiegel aufsteigenden Erhebung in der Nähe von Florida, nachgewiesen.

3) *Cylicia rubeola* auf Neuseeland.



Abb. 51. Wachsender Teil (Crescent Reef) des äußeren Barrierenriffs bei Ebbe. Man bemerkt folgende Korallenstöcke: *Cyphastraea* (1), *Madrepora laxa* (2), *Madrepora australis* (3).

angetroffen, und ebenso selten ist das Vorkommen in schlammigen Meeresteilen. Eine einzige Art, die australische *Astraea Bowerbanki*, vermag sedimentreichem und brackischem Wasser zu widerstehen. Die obere Grenze der lebenden Riffkorallen wird durch den Küstensaum der Gezeiten gebildet; nur vereinzelte Arten widerstehen durch Absonderung eines zähen Schleimes der Trockenheit einer längeren Ebbe.

Während die sedimentbildende Tätigkeit der Foraminiferen und Schaliere langsam vonstatten geht, vermögen die Korallen Hunderte, ja Tausende von Metern mächtige Bauten in einer — geologisch gesprochen — kurzen Zeitspanne auszuführen. Diese in ihrer Wirkung gewaltige Summierung der im einzelnen geringfügigen Kalkausscheidungen wird durch das rasche Wachstum der Korallen erklärlich: ein im Indischen Ozean aufgefischtes Stück Telegraphentabel hatte sich im Laufe weniger Jahre mit einer zwei Fuß mächtigen Kalkschicht bedeckt. Exaktere Messungen über die Zunahme von Korallen hat J. D. Dana in seinem bekannten Werke über Korallenriffe (S. 97) zusammengestellt. Danach beträgt das Wachstum bei den massigen, mit dichtem (aporphem) Skelett versehenen Formen weniger als bei den stark verästelten, aus maschigem (perforatem) Kalkgerüst bestehenden Madreporen.

Zwischen der gewaltigen Mächtigkeit der pazifischen, vom Grunde des Ozeans aufstrebenden Korallenbauten und der geringen Tiefe, bis zu welcher Korallen leben können, scheint ein unlösbarer Widerspruch zu bestehen. Charles Darwin und James Dana haben dieser Schwierigkeit durch die Annahme eines langsamen Sinkens des Meeresbodens zu begegnen gesucht.

In demselben Maße, wie der Abstand zwischen Meeresboden und Meeresoberfläche sich durch Senkung des Bodens oder Ansteigen des Wasserstandes vergrößerte, wuchsen die Korallen empor. Der Langsamkeit, mit der Niveauveränderungen der Erdrinde sich vollziehen, entsprach das Wachstum der organischen Kalkbauten. Wenn der Korallenbau die Oberfläche erreicht, wird durch die Brandung der Kalksand zusammengehäuft und wächst schließlich über den Meerespiegel empor, wobei die rasche chemische Verfestigung der ursprünglich losen Masse Halt verleiht. Auch die Form der Saum-, Barriere- und ringförmigen Riffe oder Atolls erklärt sich durch den von Ruhepausen unterbrochenen Senkungsvorgang (Abb. 52).

Unter einem Riff verstanden die alten Seefahrer eine Felsmasse, die sich in einiger Entfernung vom Lande erhebt und durch die Wogen überspült wird. Maßgebend ist also ein wesentlich topographischer Gesichtspunkt für die Unterscheidung von Riffen und Inseln. Der Geologe unterscheidet Riffe, die aus älteren Gesteinen verschiedenster Zusammensetzung bestehen, von jungen Riffen und von Korallenriffen. Ein Korallenriff ist eine allseitig freistehende, vom Meeresboden aufstrebende Kalkmasse, welche aus emporgewachsenen Korallenstöcken, überrindenden, z. T. die Korallen an Masse übertreffenden Kalkalgen und dem zwischen den Ästen angesammelten Kalksand gebildet wird.¹⁾ Der „Korallensand“ der Bermuda-Inseln besteht hauptsächlich aus zerbrochenen Kalkalgen.

Für den Aufbau des Riffes kommen in erster Linie die stark verästelten Korallen, vor allem die Madreporen in Betracht, welche in ihren Zwischenräumen den durch die Brandung aufbereiteten Kalksand auffangen; die kompakten Stöcke sind mehr für die Verfestigung als für die Vergrößerung des Riffes von Bedeutung. Ein fossiles, aus früheren Perioden stammendes Riff bildet in den Durchschnitten der Erdrinde linsen- oder brotleibförmige unge-

1) Frech, Aus den Karnischen Alpen. Zeitschr. des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 1890.

schichtete Massen, denen die geschichteten Gesteine angelagert sind. Die letzteren können entweder chemisch übereinstimmende Kalle (Ab. 60, 61) oder fremdartige Tuffe vulkanischen Ursprungs sein (vgl. Abb. 53, 59).

Zwischen gewachsenen ungeschichteten Riffen und geschichteten Kalken besteht überall — in der Jetztzeit und in der Vorzeit — ein unmittelbarer genetischer Zusammenhang. Der durch die Brandung von

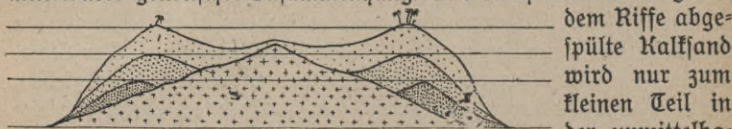


Abb. 52. Entstehung eines Atolls aus dem Saumriff einer sinkenden Insel. Die vier wagerechten Linien bezeichnen den Wasserpiegel in den verschiedenen Entwicklungsperioden.

dem Riffe abgespülte Kalksand wird nur zum kleinen Teil in der unmittelbaren Umgebung niedergeschlagen, zum größeren Teil jedoch durch die Meeresströmungen weiter geführt. Auf diese Weise hat sich in der Jetztwelt eine Fläche von ca. 10,5 Millionen qkm mit geschichteten Absätzen koralligenen Ursprungs bedeckt, während der von den Riffen selbst eingenommene Raum um vieles geringer ist. Die geologischen Korallenbildungen — vorzugsweise die rheinischen und alpinen Kalle — zeigen häufig einen unregelmäßigen Wechsel geschichteter und ungeschichteter Massen. Stellen wir uns vor, daß in den Lagunen der Ringriffe, in den zwischen Saumriff und Festland gelegenen Meeresteilen sowie im offenen Ozean in der Nachbarschaft der Riffe der Boden durch geschichtete Sedimente erhöht wird, und daß in dem letzteren Falle häufig die Möglichkeit zur Entstehung neuer Kalkbauten gegeben ist, so erklären sich diese scheinbar verwickelten Verhältnisse in einfacher Weise.

2. Einwürfe gegen die Senkungstheorie Darwins.

Längere Zeit, bis zur Erweiterung unserer Kenntnisse hat die Theorie Darwins eine fast unumschränkte Herrschaft behauptet. Man lernte später im westindischen Archipel, dann aber auch auf den Philippinen, Andamanen-, Palau- und Salomon-Inseln Korallenbauten kennen, die unter anderen Bedingungen entstanden waren als die in der Mitte des Stillen Ozeans liegenden Koralleninseln. Später suchte man die auf die westindischen Riffe begründeten und teilweise zutreffenden Theorien rückschließend auch auf die pazifischen zu übertra-

gen.¹⁾ Die neueren Forschungen bezeichnen einen Fortschritt, insofern sie zu der Anschauung führten, daß das Phänomen der Riffbildung verwickelter sei, als Darwin und Dana ursprünglich annahmen. Meist baute jeder in einem neuen Korallenriffge-

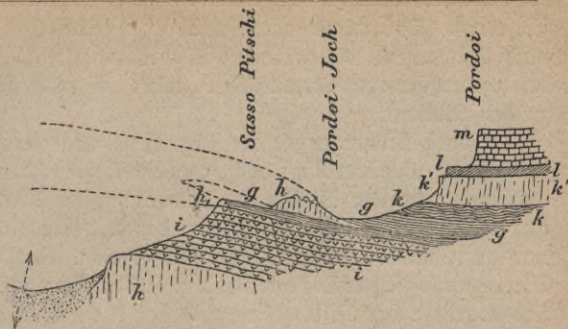


Abb. 53. Südtiroler Riffe. Dolomitlinse *h*, Dolomitplatte *k'* zwischen vulkanischen Tuffschichten. Durchschnitt am Pordoi-Joch. *i* Caven (des Augitporphyr), *g* Werfener Tuffschichten, *h* Werfener Riffdolomit, *h*, Riffblöcke, *h* Cassianer Schichten, *k* Cassianer Riffdolomit, *l* Raibler Schichten, *m* Dachsteintalf.

biet tätige Forscher sich seine eigene Hypothese auf und suchte sie dann auf die Gesamtheit der Erscheinungen auszudehnen. Ja, Guppy hat sogar auf einige, für ein beschränktes Gebiet in den Salomoninseln zutreffende Beobachtungen hin die Theorie Darwins umgekehrt und die Bildung der Ringriffe durch Hebung des Meeresbodens zu erklären versucht.

Die große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen beweist, daß bei den Bewegungen der Erdrinde oder des Meerespiegels ganz verschiedenartige Typen der Korallenbauten entstehen: Wenn der Gleichgewichtsstand von Festland und Meer ungestört bleibt, oder wenn das Land sich „hebt“, wie im Roten Meer und den zentralamerikanischen Gebieten, dann entstehen dünne, rindenförmige Überzüge von Korallenkalk; sie bedecken entweder weithin den Meeresgrund (Zentralamerika) und bilden eigentümliche, häufig pilzförmig gestaltete Bauten (Abrolhos, Brasilien) oder kleben (an den gehobenen Küsten des Roten Meeres) in verschiedenen Horizonten als terrassenartige, wenige Meter mächtige Rinden auf dem Gestein. Doch sind auch im Süden des Roten Meeres Korallensedimente bis zu einer

1) Die Darwin entgegenstehenden Anschauungen stützen sich auf Angaben von Semper, Rein, Murray, Studer, Pourtalès, Al. Agassiz und Guppy. Vgl. auch R. Langenbeck, Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe (Leipzig).

Tiefe von 1500 m nachgewiesen worden (Abb. 54). Ebenso gehören nach Wichmann die gesamten Riffe des ostindischen Archipels zu den rindenförmigen Strandriffen (nicht, wie man unrichtig annahm, zu den Atollen).

Auf diese Bildungen ist der Begriff der Barriere- oder Saumriffe oder Atolle schlechterdings nicht anwendbar, trotzdem die äußere Erscheinung zuweilen ähnlich ist. Den wichtigsten Unterschied bildet die geringe Dicke des Rindenriffs, das auf einer sich hebenden Küste nur ganz unbedeutende Mächtigkeit erreicht. Auch bei stationärem Meeresstand ist das Dickenwachstum auf die Zone zwischen der unteren Lebensgrenze der Riffkorallen und der Meeresfläche, also auf etwa 40 m beschränkt. Wenn der Meeresgrund sich durch Sedimentbildung erhöht (s. o.), so stellt nur der oberste Teil der Kalkmasse ein Riff dar. Überehend wachsen vor allem die von Wärme und Meeres-tiefe¹⁾ weniger abhängigen Kalkalgen, die überall unselbständig sind, d. h. von den Korallenbauten abhängen. In der Gegenwart fehlen daher in gemäßigten und kühlen Meeren Kalkalgenriffe, die nur in den tropischen Breiten vorkommen.

Für die gewaltigen Bauten der Inseln des Stillen Ozeans haben Murray und Guppy — zurückgreifend auf ältere Ideen Chamisso's — angenommen, daß die Atolle oder Ringriffe auf unterseeischen Bergspitzen, vor allem auf vulkanischen Pits gewissermaßen aufgeklebt seien. Diese submarinen Höhen sollen durch die aus den oberen Regionen des Meeres stammenden Kalkschalen so lange erhöht werden, bis sie schließlich in die für Riffkorallen geeigneten Meereszonen hineinwachsen. Die letztere Annahme soll durch die Beobachtung weiter gestützt werden, daß Riffkorallen auch unter 40 m Tiefe gelegentlich vorkommen. Jedoch ist die Möglichkeit für eine kräftige Entwicklung nur in den oberen Regionen des Wassers gegeben. Ein von Guppy auf dem gehobenen Atoll Santa Anna (Salomoninseln) beschriebenes Profil zeigt unten allerdings im Sinne der obigen Annahme 1. vulkanisches Gestein, 2. einen Mantel von dem durch Foraminiferen gebildeten freidigen Schlamm und 3. darüber Korallenkalk. Doch berechtigt ein solches, bisher vereinzelt gebliebenes Beispiel noch nicht zu der Annahme, daß alle Atolle in Hebungsgebieten entstanden sind.

1) Gardner fand Kalkalgenriffe auf den Malediven in 35 Faden, Sind am Sunafuti-Atoll in über 100 Faden, Al. Agassiz auf dem Pourtales-Plateau in 250—350 Faden.

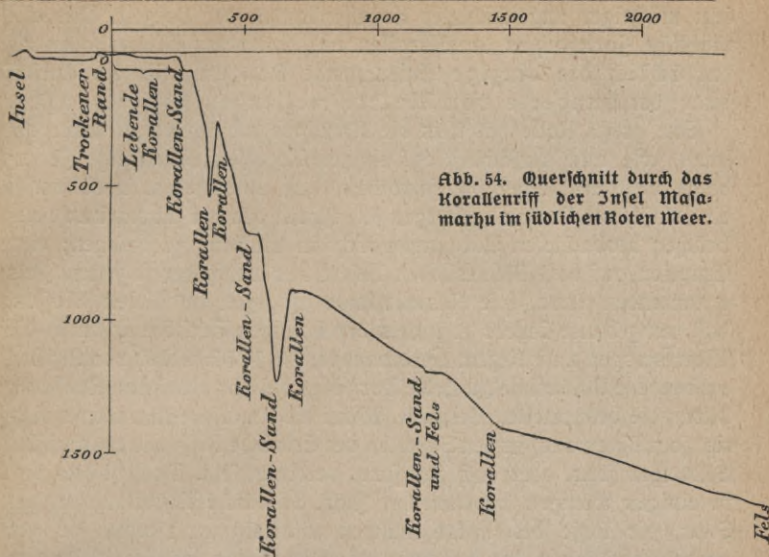


Abb. 54. Querschnitt durch das Korallenriff der Insel Masamahu im südlichen Roten Meer.

Dagegen spricht die Tatsache, daß in zahlreichen Gruppen des Pazifik keine einzige Insel zu größerer Höhe als der wenigen Meter emporgehoben ist, welche der Bewegung des Trümmersmaterials durch die Brandung entsprechen. Die tektonische Hebung kann kaum in dem Augenblicke aufgehört haben, wo der biologische Korallenbau die Meeresoberfläche berührte.

Erwägenswerter wäre die Annahme, daß der Grund des Pazifischen Ozeans sich im Zustande der Faltung befände, und daß dann die Korallen die submarinen Erhebungen¹⁾ überdecken. Doch ist dagegen die unregelmäßige Anordnung der großen Mehrzahl der Koralleninseln anzuführen, die keinerlei Ähnlichkeit mit den Gebirgsbögen besitzen. Nur bei wenigen Inselgruppen könnte man auf den Gedanken kommen, daß ein Faltungsbogen sich von dem Grunde des Weltmeeres erhöbe.

Die Anschauung Murrays, welcher einen stationären Zustand des Meeresspiegels annimmt, läßt vor allem das Vorhandensein der tiefen Lagunen inmitten der Ringriffe ebenso unerklärt wie das Vorhanden-

1) Vgl. Francis Darwins Leben und Briefe an Ch. Darwin (deutsche Übers.) III (Stuttgart 1887), S. 178.

sein mächtiger ungeschichteter Korallenbauten der Vorzeit. Das allmähliche Fortwachsen der Korallen auf sinkendem Meeresboden ist tatsächlich die einzige einleuchtende Deutung für die Entstehung der Hunderte von Metern messenden Riffbildungen.

Eine große Rolle hat stets die Annahme submariner Vulkane gespielt, wie auch tatsächlich auf einigen Koralleninseln tätige Feuerberge auftreten. Aber die Hypothese, daß unter jedem Korallenriff ein erloschener Vulkan verborgen sei, ist mit den bei submarinen Ausbrüchen beobachteten Vorgängen nicht in Einklang zu bringen; eine Eruption auf dem Meeresboden liefert nur wenig der zu festem Fels erstarrenden Lava, lose Auswürflinge hingegen in solchen Massen, daß neugebaute Inseln fast stets der baldigen Zerstörung durch die Meereswogen unterliegen. Ferdinanda, die 1837 südlich von Sizilien entstandene Vulkaninsel, und die Vorgänge bei dem Krakatau-Ausbruch bilden die bekanntesten Beispiele. Wäre die Annahme Murrays richtig, so müßten auch in den Schichten der Erdrinde Riff- und vulkanische Bildungen stets, oder doch fast stets, vereinigt sein. Doch ist dies nur in einigen wenigen Gebieten der Fall: Sämtliche Riffbildungen des Silur, die Riffe des linksrheinischen und alpinen Devon, die der nordalpinen sowie der gesamten obersten Trias, endlich diejenigen des Jura und der Kreide sind in nichtvulkanischen Gebieten zum Absatz gelangt.

Die ostasiatischen Sestoninseln mit ihren aufgesetzten Vulkanen (z. B. die Kurilen und Riu-Kiu-Inseln) fallen nicht unter den Begriff der reinen Vulkane, da sie die Überreste versunkener Gebirge darstellen. Daß aber auf den Bergspitzen eines untergetauchten Hochgebirges keine Korallenbauten entstehen können, ist selbstverständlich: Die Formen der Kettengebirge, insbesondere die Gipfelbildungen, sind das Werk der subaërischen Zersetzung und Verwitterung; bei dem Untertauchen unter das Meer würde die Brandung diese Charakterformen der Landoberfläche größtenteils abschleifen oder gänzlich vernichten.

Selbst wenn also auf einzelnen Inselgruppen des Stillen Ozeans gehobene Korallenriffe zur Beobachtung gelangen, kann es sich nur um vereinzelte, den allgemeinen Senkungsvorgang unterbrechende Nebenerscheinungen handeln. Koralleninseln, die sich Tausende von Metern über dem Meeresboden erheben und vor allem von den nächstbenachbarten Eilanden derselben Gruppe durch entsprechende Tiefen

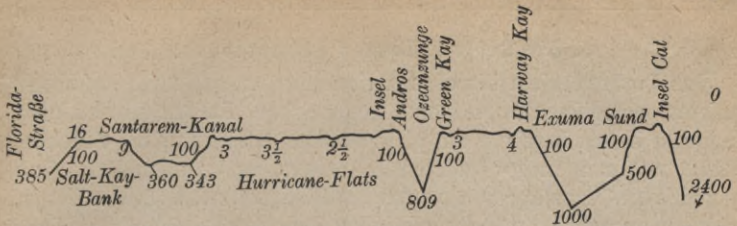


Abb. 55. Querschnitt (stark überhöht) durch die große Bahama- und Salt-Kay-Bank, Tiefe nach Saden.

getrennt sind, können nur auf sinkendem Meeresgrunde entstanden sein¹⁾ (Abb. 55). Von dem Ausmaß pazifischer Senkungen gibt der Sund von festem Korallenfels auf dem Sockel der Insel Ponape Kunde. Fester Korallenfels wurde hier bis 2088 m durch 7 Lotungen nachgewiesen.²⁾

Ausschlaggebend für die Entscheidung der Frage, ob neben Rindensriffen auch mächtige, aufsinkendem Meeresboden emporgewachsene Riffbauten vorkommen, sind die Ergebnisse von Tiefbohrungen, die auf dem Atoll Funafuti (Elliot-Inseln) im Jahre 1897 und 1898 ausgeführt wurden. Hier, in der Mitte des Stillen Ozeans, ist der Bohrer bis zu einer Tiefe von 390 m in festem Korallenfels vorgedrungen.³⁾ Die Theorie Darwins, die bisher wesentlich durch geologische Beobachtung der mächtigen Riffe früherer Erdperioden gestützt wurde, erscheint somit auch für die pazifischen Riffe der Gegenwart gerechtfertigt. Auch abgesehen von diesem experimentellen Nachweis der Bohrung auf Koralleninseln ist das breite und überaus mächtige nordaustralische Saumriff, von dem die schönen Bilder S. Kents stammen (S. 105), nur unter Annahme einer vorschreitenden Senkung der Küste erklärbar. Die höheren, aus Korallenkalk bestehenden Terrassen, welche eine „Hebung“ beweisen würden, sind in allgemeiner Ausdehnung nicht vorhanden.

1) Zwischen den Bahama-Inseln finden sich nach den Berechnungen von Diedrich die folgenden Tiefen: Great Abaco—Nassau 3243 m, 4064 m, Great Abaco—Great Bahama 1585 m, Eleuthera—Exuma 1580 m, Eleuthera—Cat 1714 m, Cat—San Salvador 4540 m, Cat—Concepcion 1545 m, Concepcion—Exuma 2138 m.

2) A. C. Reichard, Lotungen und ozeanographische Beobachtungen S. M. S. „Planet“ in der Südsee 1911. (Ann. d. Hydrogr. 40, 1912, S. 401—406 u. Taf. 21.)

3) Etwa ein Drittel bestand aus harten Riffkalken, zwei Drittel aus weicheren freidehnlichen oder wenig zementierten Kalken.

3. Die Riffe früherer Erdperioden.

Das Vorhandensein klimatischer Zonen ist nur für kurze Abschnitte unserer geologischen Zeitrechnung nachweisbar. In den ältesten geologischen Zeiten herrschte ein gleichmäßiges Klima auf der Erdoberfläche, und auch in den späteren Abschnitten der Erdentwicklung sind zunächst die Gegensätze von polaren, gemäßigten und tropischen Zonen weniger ausgeprägt gewesen als in der Jetztzeit. Die Floren des Festlandes zeigten ebenso wie die marinen Tiergruppen eine gleichförmigere Verbreitung als ihre lebenden Nachkommen. Fossile Riffkorallen finden sich nicht nur in gemäßigten Gegenden — z. B. in den Alpen, der



Abb. 56. Profil durch die Koralleninsel Mateiha des Sunafuti-Atolls.

a = Totes *Heliopora coerulea*-Riff mit *Porites*, *b* = Obere Partie des lebenden *Lithothamnium*-Riffs, *c* = Totes *Lithothamnium*-Korallen-Soraminiferen-Riff von brecciöser Beschaffenheit, *d* = Brecciöses Riff, *e* = alter Korallensandboden mit Vegetation, *f* = Alter Korallensand mit *g* = Hurricane-Bank, die aus grobem Korallenmaterial und Soraminiferen- und *Lithothamnium*sand besteht.

Eifel und auf der Insel Gotland —, sie wurden sogar innerhalb des Polarkreises in karbonischen Schichten auf Nowaja Semlja und neuerdings im Devon des Heureka-Sundes unter ca. 78⁰ n. Br. nachgewiesen.

Auf die allgemeine Verbreitung der Landfloren allein oder der Meeresfaunen allein würde ein weitgehender Schluß auf Gleichmäßigkeit klimatischer Verhältnisse nicht begründet werden können. Aber die gleichartige Beschaffenheit der beiden verschiedenartigen Gruppen schließt jeden Zweifel aus.

Die schichtungslosen, Hunderte, ja über 1000 m mächtigen Riffe der Vorwelt beseitigen zusammen mit der Bohrung von Sunafuti jeden Zweifel über die koralligene Natur der zu gleicher Höhe über den Meeresboden emporragenden Koralleninseln der Jetztwelt. Allerdings könnte man für die Riffe der Trias- oder Devonperiode (s. u.) den Einwand erheben, die damaligen Korallen seien nicht, wie ihre heutigen Verwandten, an die oberen 40 m des Meeres gebunden gewesen, und die alten Riffe seien aus großer Meerestiefe bis an die Oberfläche emporgewachsen. Jedoch läßt sich aus der Art des Vorkommens sowie aus den Wachstumsformen fossiler Korallen eine Übereinstimmung der Lebensweise mit den Bewohnern der heutigen Meere nachweisen. Die Riffe der Jetztwelt sind

Nigger

heads



Abb. 57. Schädelriff (Scull Reef). Die Außenseite des großen Barrierenriffs wird durch kleinere Koralleninseln („Negerköpfe“, nigger heads) im Hintergrunde angedeutet, die das Sinken des Landes anzeigen. Der Vordergrund wird durch eine als „Schädelriff“ bezeichnete, lokale Ausbildungsform des großen Barrierenriffs gebildet. Die kopfähnlichen Korallen gehören zu folgenden Arten: *Porites astraeoides*, *Goniastrea* cf. *eximia*, *Proniastrea*, während die *Madrepora millepora* verzweigte Formen aufweist.

durch die Häufigkeit von abgerollten Korallenbruchstücken gekennzeichnet, welche zusammen mit dem feineren Kalksand von den Wogen innerhalb der Riffklüften zusammengetragen werden. Gerundete Kollsteine, die in den alten Riffen ebenso häufig vorkommen wie in der Jetztwelt, wurden nur durch die Tätigkeit der Brandungswelle gebildet. Ein weiter Transport vermittelt der Meeresströmungen ist ausgeschlossen.

Man wird also aus dem Vorhandensein von zahlreichen abgerundeten Korallenbruchstücken in älteren Bildungen stets die Nähe einer Brandung und somit auch die Beschränkung der Tiere auf die oberen Meeresschichten folgern können. Zu dem gleichen Schluß führen die Formen des Wachstums der verschiedenartigen Korallenstöcke. Es wird bedingt einerseits durch das Bestreben, eine möglichst große Fläche zum Zwecke der Nahrungsaufnahme zu entwickeln, andererseits durch die Notwendigkeit, dem Anprall der Wogen Widerstand zu leisten. Je nach der Stelle, welche die Korallenkolonien auf dem Riffe einnehmen, entwickeln sich in den heutigen Riffen inkrustierende Rinden, Blätter, unregelmäßige Knollen, Pilze, Dome, Becher, mehr

oder weniger zierlich verzweigte Bäumchen, Rasen aus parallelen Sprossen, und endlich vorspringende Konsolen. (Abb. 57.)

Es ist nun höchst bemerkenswert, daß die Riffbildner der paläozoischen Ära und der jüngeren Perioden, welche zu ganz verschiedenen zoologischen Gruppen gehören, bei aller Abweichung des zoologischen Baues eine außerordentliche Ähnlichkeit in der äußeren Form besitzen. Man wird zur Erklärung dieser Tatsache das Vorhandensein gleichartiger mechanischer Einflüsse anzunehmen haben. Die alten Riffkorallen können somit nicht in den der Meeresbewegung entrückten Regionen der Tiefsee zu Hause gewesen sein, sondern waren ebenfalls der Brandungswirkung ausgesetzt.

Eine chronologische Übersicht der Verteilung der Riffkorallen und ihrer Bauten über die verschiedenen Abschnitte der Erdgeschichte gibt nebenstehende Tabelle; sie enthält die Aufzählung der geologischen Perioden, deren durch verschiedene Tier- und Pflanzenreste (Zeitfossilien) gekennzeichnete Ablagerungen je einer Formation der Erdrinde entsprechen.

Korallen, welche mächtige ungeschichtete Korallenablagerungen aufbauen können, sind seit der kambrischen Zeit in jeder Formation bekannt; echte Riffe kennt man jedoch erst seit der silurischen Periode. In der Tabelle sind die Abstufungen für die bisher beobachtete Mächtigkeit von Riffen durch die Dicke des schwarzen Striches kenntlich gemacht. Eine Übersicht der Riffentwicklung auf der Erde ist angesichts der geringen Ausdehnung geologischer Forschungen unmöglich. Genauer bekannt sind bisher nur Europa sowie Nordamerika ohne den Norden. In Asien, Afrika und Australien beschränkt sich die genauere Kenntnis auf die europäischen Kolonien wie Ostindien, das Kapland, Algerien, N.-S.-Wales, Viktoria und Teile der übrigen Staaten.

Abgesehen von den wenig bekannten Ländern sind die ausgedehnten Ablagerungen im Gebiete des Arktischen, Atlantischen und Indischen Ozeans unseren Untersuchungen entrückt. Hier haben bedeutende Veränderungen von Festland und Meer seit Beginn der geologischen Zeitrechnung stattgefunden, und ausgedehnte Flächen älterer Meeres sedimente liegen somit auf dem Grunde der heutigen Ozeane begraben. Der Pazifische Ozean ist im Gegensatz zu den anderen Weltmeeren nicht nur das größte und tiefste, sondern auch das älteste Meeresbecken.

Die Untersuchung geologischer Gebilde, die nach ihren äußeren For-

Geologische Übersicht des Vorkommens der Korallen,
Kalkalgen und Korallenriffe in Europa:

| Zeitzeit und Pleistozän | Riffbildende Korallen | | Kalkalgen (verschiedene Gruppen) | Riffe |
|---|-----------------------|---|--|-------------------------------------|
| | a | b | | |
| Tertiär jüngeres älteres | | | | |
| Kreide obere untere | | ? | | ? in den Alpen |
| Jura oberer mittlerer unterer | | b | | nur in den Alpen |
| Trias obere mittlere untere | c | a Hydrozoen (b) Hexacorallier (a) | d ? | |
| Dyas | | | | Brüozoen- riff des Zechsteins |
| Karbon oberes unteres | | | ? | |
| Devon oberes mittleres unteres | | | ? | |
| Silur oberes unteres | c | Pteroforallier Stromatopor. Tabulata d | | |
| Kambrium | | Archäocnathinen | | |

men als Riffe zu betrachten sind, zeigt häufig eine vollständige oder fast vollständige Zerstörung organischer Struktur. Man hat jedoch mit Unrecht hieraus einen Grund gegen den organischen Ursprung derartiger Bildungen abgeleitet. Auch in den heutigen Riffen wird die Struktur der Korallen meist in kürzester Zeit zerstört. Ganz abgesehen davon, daß nur ein Drittel der Masse aus gewachsenen

Korallenstöcken, zwei Drittel aus mehr oder weniger fein zermahlenem Kalksande besteht, geht auch bei den ersteren die chemische Umsetzung rasch vor sich. In geologisch alten Riffen erfolgt durch die im Innern der zerklüfteten Kalkmasse zirkulierenden Wässer die Zerstörung der organischen Struktur von unten nach oben: In den oberen Lagen vermag sich die ursprüngliche Form der Versteinerungen besser zu erhalten als in den tieferen. Die röhrenförmigen Kalkalgen (*Diplopora*), welche höchst wahrscheinlich die Masse des über 1000 m mächtigen Wettersteinkalkes aufgebaut haben, finden sich in deutlicher Erhaltung und großer Häufigkeit nur auf dem Zugspitzgipfel und dem anschließenden Kamm. In den unteren und mittleren Lagen des Gebirges sind die zierlichen Röhren durch chemische Zersetzung und Dolomitifizierung vollkommen zerstört worden.

In der Umgebung von Riffen geht die Zerstörung und Verwesung organischer Materie ebenso rasch vonstatten wie die Neubildung. Es scheint, daß die bei der Zersetzung des Eiweißes frei werdenden organischen und schwefligen Säuren in sehr energischer Weise auf den in leicht löslicher Form vorhandenen Kalkspat der Korallen- und Muschelbruchstücke einwirken. Der aus dem bewegten Wasser ausgefallte Kalk setzt die anorganisch struierte Riffmasse zum guten Teile zusammen und läßt konzentrische Kalksinterlagen, ähnlich den bekannten Absätzen des Karlsbader Sprudels, entstehen.

Auch die Dolomitbildung — die Entstehung eines aus kohlen-saurem Kalk und kohlen-saurer Magnesia gemischten Gesteins — wurde in den heutigen Korallenriffen (Matea, Rotes Meer) beobachtet. Während die eigentlichen Steinkorallen (*Madreporaria*) vorwiegend kohlen-sauren Kalk (CaCO_3) führen, findet sich in Skeletten einer anderen Korallengruppe, der *Alcyonaria*, kohlen-saure Magnesia (MgCO_3) und Kalkphosphat ($\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$) in nennenswerter Menge. Das betrifft besonders die Edelkoralle (*Corallium*) und die blaue Koralle (*Helio-pora coerulea*).

Den höchsten Gehalt an beiden Stoffen zeigte *Phyllogorgia quercifolia* Dana von Fernando de Noronha mit: SiO_2 0,34, $(\text{Al, Fe})_2\text{O}_3$ 0,26, MgCO_3 15,73, CaCO_3 72,99, CaSO_4 2,11, $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ 8,57. Ordnet man die untersuchten *Alcyonaria* nach steigendem Magnesiumgehalt, dann gehören alle Formen mit relativ weniger Magnesiumcarbonat (MgCO_3) den kälteren, gemäßigteren Meeren und größeren Tiefen an, während die MgCO_3 -reichsten Warm-

wasserformen sind, eine Feststellung, die für das Dolomitproblem wichtig ist.¹⁾

Die weite Verbreitung des Dolomits im Devon und in der Trias verliert also viel von dem Rätselhaften, das diese Bildung bis vor kurzem umkleidete. Ferner läßt sich feststellen, daß die kalkigen, von Korallen erbauten Massen vorwiegend geschichtet, die Dolomite hingegen vorwiegend ungeschichtet sind. Auch diese Beobachtung hängt mit der schwereren Löslichkeit der kohlsauren Magnesia zusammen, deren Prozentgehalt im Laufe der geologischen Zeiten infolge der Tätigkeit der zirkulierenden Wässer zunimmt.

Neben den kalkbildenden Tieren sind kalkabsondernde Algen in der Jetztwelt und in der Vergangenheit der Erde wichtig. In den Kaltriffen der älteren Meere unterlagen die meist fein verzweigten Kalkalgen viel rascher der chemischen Umwandlung.

4. Bergformen der geologischen Riffe.

Nur undeutliche Reste von Korallen finden sich in der die ältesten Versteinerungen führenden Formation (dem Kambrium); die ersten echten Riffe treffen wir im Silur; es sind die obenerwähnten Kalklinsen der Insel Gotland. (Vgl. S. 52.) Größere Bedeutung besitzt die Entwicklung der Korallen in der devonischen Formation. Riffbildungen des älteren Devon finden sich noch vereinzelt in den Karnischen Alpen sowie westlich von Prag. Die Hauptentwicklung der mehrere hundert Meter mächtigen, in Europa weit verbreiteten Riffe fällt jedoch in das Mitteldevon. Die mächtigste Masse findet sich in der Karnischen Hauptkette, wo die Riffentwicklung fast durch die ganze Mächtigkeit der Formation hindurchreicht und ein vorwiegend geschichtetes Kalkgebäude von 800—1000 m Mächtigkeit aufgeführt hat.

Die Tierwelt, welche diese alten Devonriffe belebte, ist an einigen Sandpunkten in außerordentlicher Mannigfaltigkeit und vortrefflicher Erhaltung zu beobachten. Ein Ausflug von dem südlich Mauthen im Gailtal gelegenen Plöckenwirthshaus führt den Wanderer durch das Valentintal an den Fuß der Kellerwand und hinauf zu dem im Weltkriege umkämpften Wolayer Törl. Hier findet man auf und neben dem Lawinenschnee, über den der Weg zum Wolayer See hinabsteigt,

1) S. W. Clarke und W. C. Wheeler, The inorganic constituents of Alcyonaria. Proc. Nat. Ac. Sc. 1, 1915, S. 552—556.)

eine Menge von Kalkstöcken, zusammengesetzt aus den Resten fremdartiger Wesen, die vor Millionen von Jahren hier gelebt haben. Der innere Bau der Korallenstöcke, die einen Durchmesser von mehreren Metern erreichen, ist vielfach vortrefflich erhalten; man überzeugt sich jedoch leicht, daß ebenso wie in den heutigen Rissen nur das Gerüst des Bauwerkes aus den Korallenstöcken besteht, während die viel umfangreicheren Lücken durch den von der Brandung zerkleinerten und zerriebenen Korallensand ausgefüllt werden.

Auch die übrige, das Wolarer Riff bevölkernde Tierwelt, die Schältiere, Seelilien (Crinoiden) und Krebsartige Wesen (Trilobiten) sind in solcher Mannigfaltigkeit und Schönheit zu finden, daß der Sammler aus der eisigen Region der Hochalpen an den Brandungsstrand eines tropischen Meeres versetzt zu sein glaubt. Ein Block besteht fast ganz aus großen, reich verzierten Schnecken, abenteuerlich gestalteten Formen, die auf dem Riffe die Korallentiere abweideten und durch ihre kräftige Schale gegen die brandenden Wogen geschützt waren. Die mit ihrem Stiele festgewachsenen Seelilien vertraten die Stelle der Seeigel, welche heute die der Brandung weniger ausgesetzte Zone des Riffes bevölkern; doch zeigte der kräftige Bau der Crinoiden, daß sie mindestens noch in bewegtem Wasser zu Hause waren.

Ein Stilleben in den geschützten Lücken des Riffes führten die Muscheln (Brachiopoden und die selteneren Zweischaler), deren nußartig geformte, zum Teil reich verzierte Schälchen an einzelnen Punkten in großer Zahl und Mannigfaltigkeit vorkommen. Nur selten wurden die dem lebenden Nautilus ähnlichen Hochseetiere der devonischen Meere auf ein Riff verschlagen.

Einige Fundpunkte, deren Erreichung auch dem Bergsteiger Interesse gewährt, liegen auf dem wild gezackten Kalkgrate zwischen Kollinsofel und Kellerwand. Die hier von mir gesammelten Muscheln und Korallen gehören der oberen Abteilung des Devon an und sind daher zoologisch von den Versteinerungen des Wolarer Törls verschieden. Sie finden sich unter geologisch gleichen Verhältnissen in dem Riffkalk vor allem auf der Spitze der Kellerwand.

Dieselben Brachiopoden (*Stringocephalus*) und Schnecken (*Macrocheilus*), welche bis zu Höhen von 2800 m emporgehoben wurden, finden sich im Massenkalk Westfalens und bei Passrath unweit Köln in gleichzeitig entstandenen Korallenriffen (oberes Mitteldevon). Die Dolomitbildungen der Eifel (Gerolstein, Prüm), die Korallenkalk von

Belgien (Givet), der Lahn (Villmar), von Süd-Devonshire (Torquay), von Elbingerode im Harz, vom Osternigg bei Villach in Kärnten, gehören derselben Epoche an, welche in Westeuropa den Höhepunkt der Riffentwicklung bedeutet.

Die Riffe der Oberdevonzeit (z. B. in Belgien und im Harz) sind nur die Ausläufer der mitteldevonischen Entwicklung. Die Korallenriffe der Steinkohlenformation, welche zu ihrer Entstehung ein schlammfreies Meer beanspruchten, sind in der unteren flözarmen Abteilung schwach entwickelt und fehlen in der oberen produktiven Abteilung ebenso wie in der folgenden jüngsten Periode des Altertums der Erde so gut wie gänzlich. Doch bestehen die wohlgeschichteten Bänke des Kohlenkalkes vielfach aus Korallenbruchstücken, die durch die Brandung zerrieben worden sind.

Die Triaszeit, der ältere Abschnitt des Mesozoikums, bezeichnet in den Alpen und im ganzen Gebiet des Mittelmeeres einen Höhepunkt der Entwicklung der Korallen, Kalkalgen¹⁾ und der aus ihnen bestehenden Riffinseln. Korallenkalk oder Dolomit finden sich zuerst in den tieferen Schichten der mittleren Trias. In höheren Lagen derselben Abteilung nehmen die Korallenbildungen an Ausdehnung zu, und schließlich sehen wir eine große zusammenhängende Dolomitplatte vor uns, die nur durch spätere Verwitterung, Abtragung und Erosion in einzelne Gebirgsmassen — Palagruppe, Marmolata, Rosengarten und Schlerengebirge — zerlegt wird. Dort, wo die Riffbildungen am frühesten begannen, beträgt die Mächtigkeit der Dolomitmasse 800, 1000—1200 m. In Südtirol haben — ähnlich wie in dem Riffgebiet des rechtsrheinischen Devon — bedeutende submarine Vulkanausbrüche stattgefunden. Die dunkeln Lavamassen sind meist von den Wogen zu Tuff zerrieben, und dieser schwarze Augitporphyruff greift zungenartig auf der Böschung der Riffe in die Fugen ein (Übergußschichtung). Am Fuße der Dolomitriffe liegen zahlreiche abgerollte Korallenbruchstücke oder Riffsteine in den wohlgeschichteten Tuffen. Der Ausbruch der Laven²⁾ nimmt allmählich ab und in gleichem Maßstabe wächst die Mächtigkeit der Riffe.

1) Die Korallen überwiegen am Schlern, in der Gegend von Enneberg und Ampezzo, die Kalkalgen in den gleichalten Dolomiten der Karnischen Alpen, ferner in den Radstädter Tauern und in den Nordalpen, insbesondere im Wettersteingebirge (Zugspitze).

2) In der mittleren Trias.

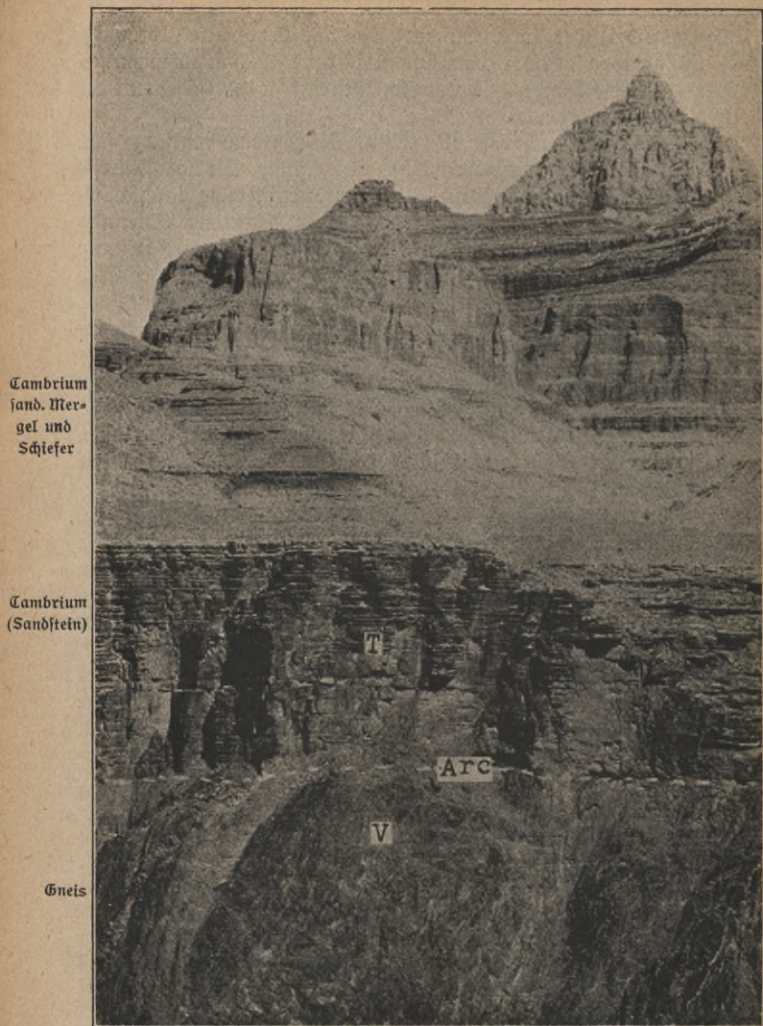


Abb. 58. Die Schichtung in den Wänden des großen Colorado-Cañon. Wohlgeschichtete paläozoische Sandstein-Mergel-Kalke (T) über Urgebirge (V).

Ein schönes Beispiel alter Riffböschung zeigt uns der Plattkofel (Abb. 59). Die steilen Abstürze, welche der Dolomit überall in größeren und mittleren Höhen zeigt (Langkofel im östlichen Teile), sind jedoch nicht alte Riffböschungen, sondern jüngere, durch die Verwitterung geschaffene Oberflächenformen.

In der obersten Schichtengruppe der Trias fehlen die Eruptivgesteine, und neben den lokal hervortretenden Riffen wiegen geschichtete Kalke bei weitem vor. Diese geschichteten Dachsteinkalke bilden in ausgedehnten Teilen der Südtiroler Dolomiten, vor allem bei Ampezzo und Sexten die stolzen Gipfeltürme der Drei Zinnen, des Monte Cristallo, der Tofana u. a. Auch die Zentralalpen waren von einer zusammenhängenden Masse des Dachsteinkalkes bedeckt. Den stilllichsten Rest der meist zerstörten Decke bildet der sagenumwobene Tribulaun unweit Gossensaß am Brenner. Die Verknüpfung der Dachsteinkalke mit dem ungeschichteten Korallenkalk ist am Dachsteingebirge selbst besonders deutlich. (S. 115, 116.)

Der Nordabhang des Gebirges besteht aus dem geschichteten, bei Berchtesgaden, am Hochkönig, im Hagen- und Totengebirge weit verbreiteten Gestein. Der jähe Südausturz der Dachsteinmasse zeigt vom Großen Donnerkogel (Gosau), wo Korallenreste das Gestein vollkommen erfüllen, bis zur Bischofsmütze und zum Scheichenspitze bei Schladming ausschließlich die massigen, schichtungslosen Wände des Riffkalkes. Am Koppentkarstein, einem Nebengipfel des Dachsteins (Abb. 60), stoßen beide Strukturformen derart aneinander, daß der geschichtete Kalk den nördlichen, das Riffgestein den südlichen Absturz bildet.¹⁾ In ähnlicher Weise wie in den heutigen Meeren der durch Brandungswirkung aufbereitete Korallensand in regelmäßigen Schichten niedergeschlagen wird, hingen auch in der Triaszeit Riff- und Dachsteinkalk unmittelbar zusammen.

Meist sind die ältere und die jüngere Kalkentwicklung durch einen Mergelhorizont²⁾ voneinander geschieden; er fehlt in einzelnen Fällen (Comelicaner Berge der Carnia, Tonion in den Müritzalpen) und dann besteht die gesamte Formation aus einer gewaltigen Kalkmasse, deren Material wesentlich aus den gewachsenen oder abgeriebenen und umgewandelten Skeletten der Korallen und Kalkalgen

1) Noch weiter östlich, am Grimming, legt sich das geschichtete Gestein über die schichtungslosen Riffmassen (Abb. 61).

2) Raibler Schichten.

Plattkofel

Sümfinger Spitze

Sangkofel



Abb. 59. Sangkofelgruppe über der Seiser Alp.

W Dolomitriffe (Sälerndolomit) der Trias im Wechsel mit Wechseln mit gleichzeitigen Savadeden. Ineinanderkreuzen beider im linken Teile des Mittelgrundes.

O



Abb. 60. Der Koppenkarstein am Dachstein. Massives Riffgestein (S) und geschichteter Dachsteintuff gehen als gleichalte Gebilde ineinander über. Die Hypothese einer Überschiebung von Dachsteintuff und Riffstein wird durch den obigen Aufschluß widerlegt. B—B Böschung des Riffes.

besteht. Auch in Griechenland sind diese triadischen Bildungen verbreitet. Die Kalksteine, welche das Felsgerüst der Burg Akroforinth, der altberühmten Feste, bilden, sind vorwiegend schichtungslos, und die organische Struktur erscheint vollkommen verwischt.

An einzelnen Punkten der Nordalpen reicht die Kalk- und Riffentwicklung über die obere Grenze der Trias hinaus und in die Juraformation hinein (Hochfellen in den Bayerischen Alpen, Sonnwendjoch nordöstlich von Innsbruck u. a.). Diese jüngeren Riffe, deren Verbreitung wesentlich beschränkter ist, enthalten die Riffkorallen der Trias, vor allem die rasen- und baumförmigen *Thesomilien* in verhältnismäßig wenig veränderten Arten.



Abb. 61. Der Südabsturz des Grimnings (Südost-Ausläufer des Dachsteingebirges). An die Böschung B—B des massigen Riffdolomits lagert sich im Norden wohlgeschichteter Dachsteintalk an (Übergußschichtung).

In dem außereuropäischen Mittel- und Westeuropa sind Riffforallen im unteren und mittleren Jura spärlich vorhanden, Riffe aber überhaupt nicht entwickelt. Die Zeit des oberen Jura ist in Süddeutschland, der Schweiz und in Frankreich durch bedeutende räumliche Ausdehnung der in verschiedenen Horizonten vorkommenden Riffe ausgezeichnet, deren Mächtigkeit (100—200 m im Maximum) im Vergleich zu den triadischen unerheblich genannt werden muß.

Mächtiger sind die oberjurassischen Riffe des Mittelmeergebiets und der Ostalpen (Plassen bei Hallstatt). Hier spielt neben den Hexakoralliern die eigentümliche Korallengruppe der Hydrozoen (*Ellipsactina*), deren Vertreter häufig zuerst in der oberen Trias erscheinen,

eine große Rolle. Ähnlich wie in den Karnischen Alpen die triadischen Riffe über denen des Devon, so liegen am Untersberg bei Salzburg die jurassischen Riffe über Dachsteinkalk. Für den landschaftlichen Eindruck bilden die weißen Kalkmassen ein untrennbares Ganzes. Dem obersten Teil des Jura gehören vor allem die Ellipsaktinienriffe an, die im Mittelmeergebiet in erheblicher Ausdehnung vorkommen.

Mit dem Jura schließt in Europa die Zeit der Riffe¹⁾ ab; zwar sind in der Kreideformation der mediterranen und alpinen Gebiete (Gosautal im Salzkammergut) Riffkorallen aus der Verwandtschaft der noch lebenden Formen recht häufig; aber echte Riffbildungen werden in den Alpen und im ganzen Mittelmeergebiet durch Anhäufung gewaltiger festgewachsener hornförmiger Mollusken, den sog. Rudisten, aufgebaut, die in der Kreideformation bedeutsamer sind als die Korallen. Nur im südlichen Teile von Ostindien enthält die untere Ober-Kreide²⁾ typische Korallenriffe, und der oberste Teil der „gehobenen Korallenriffe“ auf Cuba (s. u.) scheint ebenfalls noch der Kreideformation anzugehören.

In der Tertiärzeit nähert sich die Entwicklung des organischen Lebens, die Verteilung der Wärmezonen und die Gestaltung der Kontinente und Meere allmählich den Verhältnissen der Gegenwart: Die Riffkorallen verschwinden zunächst aus den nördlich der Alpen gelegenen Teilen von Europa. In dem alpinen Gebiet selbst, und zwar vornehmlich im Süden (Vicentin), weniger im Norden (Reit im Winkel), sind alttertiäre Korallen bekannt, die zu den riffbildenden Gattungen der Jetztzeit gehören. Jedoch kommt es nirgends zur Entwicklung von Riffen. Allerdings weist der tropische Charakter der gleichzeitig lebenden Landflora auf ein den Korallen günstiges Klima hin. Vielleicht hat der schlammige Charakter des Meeresbodens die Entstehung von Kalkbauten verhindert. Zeigt doch in den tropischen Meeren der Jetztzeit die Verteilung der Riffe große Unregelmäßigkeiten. So ist die Westküste von Afrika infolge schlammiger Sedimente und die von Amerika infolge kalter Strömungen fast vollkommen riffrei.

1) Eine Angabe, wonach in der oberen Kreide der südlichen Ostalpen Korallenriffe vorkommen sollen, bedarf der Bestätigung. Vielleicht handelt es sich um Riffkalk, deren Material durch die korallenähnliche Zweischalerfamilie der Hippuriten abgeschieden wurde.

2) Utaturgruppe (= Cenomankreide).

In den jüngsten tertiären (pliozänen) Meeren sind Riffkorallen aus den europäischen Gewässern verschwunden. Man könnte angesichts der Seltenheit tertiärer Riffe auf den Gedanken kommen, daß die Tertiärzeit als solche dem Gedeihen von Rissen ungünstig gewesen sei. Doch haben nur im Gebiet der Alpen und den im Osten anschließenden Hochgebirgen¹⁾ von Europa und Asien bedeutende Veränderungen im Stande des Meeres stattgefunden; somit liegen die Riffbildungen der Tertiärzeit noch zum größten Teil unter dem Ozean begraben. Zu dem Tertiär gehören Rindenriffe der Sinaihalbinsel, gehobene Korallenbauten des Pazifischen Ozeans und der Antillen.

Fünfter Vortrag.

Geographie der Ozeane in der geologischen Vorzeit.

Auf den Untersuchungen über Absatzbedingungen der Meere und über die früher lebende Tierwelt beruht der Versuch, das frühere Bild der Oberfläche unseres Planeten wiederherzustellen. Die Paläogeographie hat die Darstellung des Zustandes der Erdoberfläche in den verschiedenen geologischen Epochen zum Ziel und behandelt somit die Veränderungen in der Ausbreitung von Festland und Meer, die Verteilung der organischen Welt im Wasser und auf dem Lande, das Entstehen und Vergehen der Gebirge sowie den mannigfachen Wechsel, welchem die klimatischen Verhältnisse unterliegen.

Auch in andern Abschnitten, besonders in der Darstellung der Entwicklungsgeschichte der Gebirge (Bd. II) sowie der Darstellung der Kohlenbildung und des Klimas der Vorzeit (Bd. V) ist auf die Geographie der Vorzeit hingewiesen worden. Im folgenden soll somit nur von der geographischen Meereseinteilung die Rede sein.

Zuerst hat F. Roemer auf geographisch-klimatische Unterschiede in der Kreideseformation hingewiesen; später hat Neumann die ganze Oberflächengestalt der Erde für die Juraperiode zu rekonstruieren gesucht.²⁾

1) Wo die lokalen Verhältnisse für das Gedeihen von Rissen ungünstig waren.

2) Die Bezeichnungen der verschiedenen Perioden, in die man auf Grund der Veränderungen der Lebewesen und der Verschiebung von Land und Meer die Geschichte der Erde eingeteilt hat, sind aus dem vorangehenden Vortrag und aus S. 137 zu ersehen.

Ich selbst habe Ähnliches für die paläozoische Ära und die Trias unternommen. Die Untersuchung der alten Meeresprovinzen und ihrer Faunen beruht fast durchweg auf einer sicheren paläontologischen Methode und ist von besonderer Wichtigkeit, weil mit der Frage der geographischen Differenzierung der Meeresfauna Erörterungen über die Grenzen von Festland und Meer sowie über die allmählichen Veränderungen der alten Kontinente eng verknüpft sind.

Die Abweichungen gleich alter Schichten beruhen zum guten Teil auf der Verschiedenheit der physikalischen Verhältnisse innerhalb desselben Bildungsraumes. Die an der Küste und in der offenen See gebildeten Ablagerungen umschließen verschiedene organische Reste, und nach der Beschaffenheit des Sediments, ob sandig, tonig oder kalkig, bilden sich weitere Differenzierungen heraus. Nur wo innerhalb von gleichartig gebildeten, derselben Periode angehörenden Schichten (z. B. in einer Kalkbildung mit Riffkorallen) verschiedene Tierreste gefunden werden, sind geographische Unterschiede anzunehmen. Andererseits gibt die Sedimentbeschaffenheit Hinweise auf die Nähe oder Entfernung früherer Kontinente.

1. Meeresprovinzen oder tiergeographische Regionen der Gegenwart.

Bei Besprechung der Grundsätze, nach denen die Abgrenzung von zoologischen Provinzen in den heutigen und vorweltlichen Meeren zu erfolgen hat, ist festzustellen, welche Tierklassen zur Charakterisierung der heutigen Meeresprovinzen verwendbar sind, und wie weit das Klima ihre Verbreitung beeinflusst. Bei der Unterscheidung zoologischer Meeresprovinzen bleibt sesshafte oder kriechende Fauna, welche die größten (abyssoischen) Tiefen der Ozeane d. h. nicht als freischwimmend bevölkert (das Benthos), außer Betracht; denn sie besitzt nach den Ergebnissen der neueren Schleppnetzuntersuchungen unter allen Breitengraden eine bemerkenswerte Einförmigkeit. So enthält die Tiefseefauna in Westindien, im Golfe von Biscaya und an der norwegischen Küste zum großen Teile übereinstimmende Arten. Der Grund liegt in der Gleichförmigkeit der physikalischen Bedingungen, vor allem in dem vollständigen Fehlen des Lichtes und der gleichmäßig niedrigen, um den Nullpunkt schwankenden Temperatur der abyssischen Regionen. Das durch die Abwesenheit des Lichtes bedingte Fehlen der Pflanzenwelt in den Tiefen der Ozeane übt Einfluß auf die monotone Gestaltung des tierischen Lebens. Ebenso be-

sigen die Hochseebewohner — dank ihrer hervorragenden Schwimmfähigkeit — vielfach universelle Verbreitung. Allerdings weisen Weltmeere wie der Atlantische und Pazifische Ozean Verschiedenheiten auf, und ähnliche Abweichungen finden sich in den Hochseeablagerungen der Vorwelt. Bei den Bewohnern des hohen Meeres tritt ferner — im Gegensatz zu der Tiefseefauna — der Einfluß des Klimas hervor: So gedeihen riffbildende Korallen nur bei einer Minimalwärme von 20° C. Dementsprechend hat z. B. Neumann aus ihrem vollständigen Fehlen in den russischen Juraablagerungen auf ein kälteres Klima und unmittelbaren Zusammenhang mit Polarmeeren geschlossen. Allerdings wird das Gedeihen der Korallen auch durch Schlammreichtum des Meeres beeinträchtigt, und dieser Grund scheint ihr Fehlen in dem Jurameer Rußlands bedingt zu haben.

Für die Begrenzung von Meeresprovinzen sind im wesentlichen die in den Küstengewässern gebildeten Ablagerungen von Bedeutung. Die Hochseeregionen (das Pelagial) sind nach Ortmann in eine arktische und antarktische, sowie in eine atlantische und indopazifische Region gegliedert. Bei der Abgrenzung zoologischer Provinzen kommen diejenigen Tierklassen in Betracht, welche allgemeine Verbreitung und eine individuell beschränkte Bewegungsfähigkeit besitzen. Unbeweglich sind kaum irgendwelche Meerestiere, da auch die zahlreichen an ihre Unterlage festgehefteten Korallen, Zirripeden und Austern im embryonalen Stadium freie Bewegungsfähigkeit besitzen. Die erwähnten Anforderungen werden in den jetzigen Meeren von den Krustaceen, Gastropoden oder Schnecken, den Zweischalern und Seeigeln erfüllt.

Entsprechend der ungleichen Entwicklung der einzelnen Ordnungen in den früheren Epochen der Erde müssen verschiedenartige Tiergruppen für die Einteilung der alten Meere herangezogen werden. Im Anfang der paläozoischen Ära sind die Trilobiten, gegen Mitte und Schluß derselben vor allem die Ammonoiten von Bedeutung. Daneben erlangen die überaus häufigen Brachiopoden und stellenweise die Korallen geographische Wichtigkeit. In den mesozoischen Formationen kommen wiederum in erster Linie Ammonoiten für die zeitliche wie für die räumliche Gliederung in Betracht. Die känozoische Ära entspricht in dieser wie in anderen Beziehungen der Jetztwelt.

Auch für die Erörterung der Frage, welche Grenzen die zoologischen Meeresprovinzen voneinander trennen, bilden die Ver-

hältnisse der heutigen Meere den Ausgangspunkt. Vor allem sondert das feste Land die verschiedenen Meeresfaunen, und die Abweichungen sind um so größer, je längere Zeit die Trennung gewährt hat. Auffällig treten diese Verschiedenheiten hervor, wenn die Wärmeverhältnisse der getrennten Meeresbecken gleich und die Landstrahlen von geringer Breite sind. Bezeichnende Beispiele bilden die Landengen von Suez und Panama. Die Molluskenfauna, insbesondere die Zweischaler des Pazifik und der amerikanischen Mittelmeere zeigen keinerlei Beziehungen zueinander, trotzdem z. B. an dem Sandstrand zu beiden Seiten des Isthmus von Tehuantepec die physikalischen Bedingungen die gleichen sind. Ich konnte, abgesehen von einer kleinen Brackwasserschnecke (*Cerithidea*), keine übereinstimmende Art hien und drüben finden, und auch Martens gibt nur die allgemein verbreitete Purpurschnecke (*Purpura lapillus*) aus dem Osten und Westen Amerikas an.

Von der 500 Arten umfassenden Molluskenfauna des Roten Meeres finden sich nur wenige kosmopolitische Arten im Mittelmeer, und die Verschiedenheit ist so ausgeprägt, daß auch nach Eröffnung des Suezkanals nur wenige Arten aus dem einen in das andere Meer gewandert sind.

Mit den biologischen Beobachtungen stimmen die Ergebnisse der geologischen Forschung überein; denn die Trennung der ertthräischen und mediterranen Fauna hat schon vor — geologisch gesprochen — langer Zeit stattgefunden, und gelegentliche kurzwährende Verbindungen haben keine Änderungen hervorzubringen vermocht. Allerdings finden sich in alten Strandterrassen bei Suez mediterrane Konchylien; sie zeigen aber keine weitere Verbreitung nach Süden, und ihre Nachkommen im Roten Meere haben sich bereits von den mediterranen Formen differenziert.

Ferner können Inselreihen die Grenze zoologischer Provinzen bilden, besonders wenn sie die Fortsetzung von Halbinseln darstellen und Meeresströmungen die Richtung geben. So trennt Kamtschatka mit der südlichen Inselkette der Kurilen die arktische Provinz von dem Ochozischen Meere. Allerdings bilden bei günstiger Richtung der Meeresströmungen und gleichbleibenden Temperaturverhältnissen Inselreihen auch die Brücke für die Verbreitung von Küstenfaunen.

An einer sonst einförmig gestalteten Küste stellen vorspringende Kaps zuweilen die Grenze für die Verbreitung der litoralen Orga-

nismen dar. So kommt nur ein Drittel der südlich vom Kap Cod (Massachusetts) lebenden Mollusken auch im Norden vor, so daß dies Vorgebirge die Grenze zweier auf die Verbreitung der Schalthiere begründeten Provinzen bildet. Weiter trennt die abysssische Ozeantiefe die Faunen der gegenüberliegenden Küstengebiete oft in vollkommenster Weise. An den Gestaden von Westafrika und Brasilien, von Ostasien und dem westlichen Amerika leben an Orten gleicher mittlerer Jahrestemperatur wesentlich verschiedene Organismen. Endlich bilden im freien Ozean die Strömungen die Grenzen verschiedener Tiergesellschaften; so ist der „cold wall“ die Grenzlinie des kalten Polarwassers gegen den wärmeren Golfstrom bei den Faröern. Dieselbe äquatoriale Strömung erklärt die faunistische Verschiedenheit der Nord- und Südküste von Island und bewirkt die Zugehörigkeit Norwegens zu derselben Provinz wie die südlichen Gestade der polaren Insel.

Häufig fehlen bestimmte Grenzlinien zwischen benachbarten Provinzen. Die einen Arten verschwinden, andere treten an ihre Stelle, und so ändert sich auf einer längeren oder kürzeren Küstenstrecke der faunistische Charakter unmerklich; die Grenzlinie ist dann willkürlich (Westgestade Afrikas).

Die **marinen tiergeographischen Regionen der Gegenwart** gliedern sich nach Ortman in folgender Weise:

- I. Küstengewässer, Litoraler Lebensbezirk
 1. Arktische Region
 - a) Arktisch-zirkumpolare Subregion
 - b) Atlantisch-boreale Subregion (mit zwei Lokalfaunen)
 - c) Pazifisch-boreale Subregion (vielleicht auch mit Lokalfaunen)
 2. Indo-pazifische Region (sehr einheitlich)
 3. Westamerikanische Region (sehr einheitlich)
 4. Ostamerikanische Region (wahrscheinlich mit Lokalfaunen)
 5. Westafrikanische Region
 - a) Mediterrane Subregion
 - b) Guinea-Subregion
 6. Antarktische Region (in zahlreiche Lokalfaunen zerfallend)
- II. Tiefsee, Abysaler Lebensbezirk
Ohne Differenzierung in Regionen und Subregionen
- III. Hochsee, Pelagischer Lebensbezirk
 1. Arktische Region

- a) Arktisch-zirkumpolare Subregion
- b) Atlantisch-boreale Subregion
- c) Pazifisch-boreale Subregion
- 2. Indo-pazifische Region
- 3. Atlantische Region
- 4. Antarktische Region
 - a) Notal-zirkumpolare Subregion
 - b) Antarktisch-zirkumpolare Subregion.

2. Meeresprovinzen der Vorzeit.

Bei dem Studium der alten Meeresprovinzen kommen die Übergangsräume, die die zoographische Einteilung der jetzigen Meere erschweren, nur selten in Frage. Denn meist hat der Geologe zerstreute, weit entfernte Aufschlußpunkte altersgleicher Schichten vor sich und kann nur selten innerhalb derselben Formation die allmählichen Veränderungen der Tierwelt verfolgen. Somit darf aus dem Vorkommen von geographisch verschiedenen Ablagerungen in geringer Entfernung voneinander keineswegs auf das Vorhandensein alter Landmassen geschlossen werden. Solche können nur als erwiesen angesehen werden, wenn die z. B. durch Wellenfurchen gekennzeichneten Küstenbildungen, die Zerstörungsprodukte der Festländer oder Landorganismen in größerer Zahl gefunden werden.

Die ursprüngliche Methode zur Wiederherstellung des geographischen Bildes früherer Perioden bestand darin, daß man aus einer geologischen Karte z. B. die Verbreitung der Juraformation abpauste, die durch oberflächliche Unterbrechungen bedingten Verbindungen ergänzte und die durch unterirdische Aufschlüsse gewonnenen Ergebnisse hinzufügte; das Kartenbild der heutigen Verbreitung einer Meeresformation sollte dann die früheren Verbreitung des Ozeanes versinnbildlichen. Solche „Meereskarten“, auf denen die Erdoberfläche von Ärmelmeeren oder „Mariskanälen“ übersponnen erscheint, wurden früher entworfen und sind z. B. in Frankreich auch jetzt noch nicht ganz verschwunden.

Es ist besonders das Verdienst Neumanns, auf die große Bedeutung der Denudation hingewiesen zu haben, welche von den Ablagerungen früherer Perioden nur Fragmente übrig läßt. Ein einziges Vorkommen einer Tiefseeablagerung, die nicht wohl in einem schmalen Meeresbusen abgelagert werden konnte, beweist z. B. eine all-

gemeine Meeresbedeckung für Tausende von Quadratkilometern, auf denen jetzt jede Spur der betreffenden Formation fehlt.

Die Nähe alter Kontinente¹⁾ wird nicht durch die heutige Verbreitung der Meeresedimente, sondern durch Kontinentalablagerungen, durch Brandungs-Konglomerate, durch Einschwemmung von Landpflanzen und Landtieren erwiesen. Nur auf Grund einer solchen Rekonstruktion der alten Küsten kann man den Gründen der mannigfachen Verschiebungen der Meeresgrenzen nachforschen.

Der klassischen Übersicht der „Verbreitung der Juraformation“ auf der Erde folgten Rekonstruktionen E. Kofens für Kreide, Tertiär und Dyas sowie später viele andere. In dem 1901 abgeschlossenen Abschnitt meines Handbuches der Erdgeschichte (Lethaea palaeozoica) habe ich für die paläozoische Ära den Stand unserer Kenntnisse übersichtlich zusammengefaßt.²⁾

3. Vordringen und Rückzug der Ozeane.

(Transgression und Regression Abb. 29 [S. 54] und 62 [S. 126].)

Die vorliegenden Beobachtungen gestatten die Beantwortung der Frage, ob einzelne große Überflutungen des Weltmeeres durch allgemeine kosmische oder terrestrische Ursachen hervorgerufen wurden, oder ob sich die positiven und negativen Bewegungen der Ozeane gegenseitig ausgeglichen haben. Von besonderer Bedeutung ist außerdem die Erwägung, inwieweit die Entstehung und Abtragung der Gebirge die Gestaltung des Weltmeeres beeinflusst hat.

Man kann nach der Entwicklung der Meeresbewegungen zwei große Gruppen von Formationen³⁾ unterscheiden:

1. Epochen, in denen auf derselben Hemisphäre eine Reihe von gleichzeitigen kleineren Transgressionen und Rückzugsbewegungen des Meeres einen Ausgleich herbeiführen — Oszillationen im weitesten Sinne. So stehen der Transgression des nordamerikanischen Oberkambrium Rückzugsbewegungen in Mitteleuropa und im Mediterrangebiet ent-

1) Vgl. S. Frech in Hettners Geogr. Zeitschr.: Die wicht. Ergebnisse der Erdgeschichte, S. 134 ff.

2) Vgl. auch Daqué, Paläogeographie. Jena 1915.

3) Frech, Über Abgrenzung und Benennung der geologischen Schichtengruppen. Mém. présentés au VII. Congrès géologique (St. Petersburg 1897), S. 31.

gegen, und noch deutlicher als im Kambrium prägen sich diese gleichzeitigen Oszillationen während der Zeit des Karbon, der Dyas und Trias aus.

2. Am Beginn des Silur und Devon, ebenso in Jura und Kreide findet dagegen ein allgemeines Zurückfluten der Meere auf der Nordhemisphäre und ein Ansteigen gegen Mitte und Ende des Weltzeitalters statt. Der Rückzug am Anfang ist nur in der Nordhemisphäre allgemein ausgeprägt¹⁾, das Anschwellen der Meere erfolgt stufenweise und erreicht daher erst im oberen Teile der betreffenden Periode eine größere Ausdehnung. Allerdings ist diese Vergrößerung der Meeresfläche vielleicht zum Teil scheinbar, da ein Ansteigen des Meeres stets leichter festzustellen ist als ein Rückzug. So darf z. B. die (cenomane) Transgression der Oberkreide in ihrer Ausdehnung nicht überschätzt werden. Fehlt doch marine obere Kreide über der sicher festgestellten unteren u. a. in dem Kordillerengebiet Südamerikas, in Afrika, Australien, im nördlichen Rußland und in den ausgedehnten Teilen Nordasiens. Die Vorstellung eines siniflutartigen Ansteigens der Meere beruhte zum Teil auf den in der oberen Kreide gemachten Beobachtungen; an ihre Stelle tritt die Vorstellung einer Kompensierung der Bewegung der Ozeane. Dem Vorrücken des oberen Kreidemeeres in Mittel-, Nord- und Osteuropa entspricht sein Rückzug in den obengenannten Gebieten (Abb. 62). Vor allem läßt sich für die Karbonzeit der Nachweis erbringen, daß die Trans- und Regressionen voneinander abhängig sind.

Gleichzeitig mit dem Rückzuge des mittellkarbonischen Meeres aus Australien, Mittel- und Westeuropa beobachten wir am Timan, auf Spitzbergen, Nowaja-Semlja und wahrscheinlich noch in weiteren arktischen Gebieten die Transgression des Fusulinenkalkes mit Spirifer mosquensis. Immerhin ist eine absolute Altersübereinstimmung dieser Meeresbewegungen nicht vorhanden. Am Beginn des Oberkarbon überwiegen die Rückzugerscheinungen, im obersten Karbon sind Erweiterungen der Meeresfläche in ausgedehnterem Maße beobachtet. Da aber auch die mittlere Tiefe der Ozeane periodischem Wechsel unter-

1) Daher liegt hier immer in der Nordhemisphäre, von der die geologische Forschung ausging, die Grenze zweier Formationen: 1. Kambrium-Silur, 2. Silur-Devon, 3. Devon-Karbon, 4. Dyas-Trias, 5. Trias-Jura, 6. Jura-Kreide (lokal) und Kreide-Cozän. Auch der erst 1904 veröffentlichte Nachweis von Unterkambrium in Portugal bestätigt diese Anschauung.

Terrasse
von dem
quartären
Atlanti-
schen Meer
gebildet

Trans-
gressions-
grenze.
Konti-
nentale
Unter-
kreide
(Potomac-
Forma-
tion)



Abb. 62. Diskordanz zwischen Potomac-Formation (Unterkreide) und Columbia-Formation (Diluvium). Erosionsriß am Potomac unweit Washington.

liegen kann, so ist ein Austausch Zug um Zug nicht unbedingt erforderlich. Vielmehr wäre es sehr begreiflich, wenn das Meer des unteren Oberkarbon (Sp. mosquensis) im Durchschnitt tiefer, aber weniger ausgedehnt, das des höchsten Karbon flacher und räumlich entwickelter gewesen ist.

Die Veranlassung für die mannigfachen Bewegungen des Ozeans können verschiedener Art sein:

I. Häufig ist die Auffaltung von Gebirgen (Bd. II) der Anlaß für den Rückzug des Meeres. Der Abschluß des nordatlantischen

Beckens während des Endes der kambrischen und des Beginnes der silurischen Periode deutet wohl auf ältere Faltung der appalachischen Gebiete hin. Möglicherweise bildet die östliche, aus uraltem, westlich fallendem Gneis bestehende Zone des Piedmontplateaus den Überrest eines kambro-silurischen Faltungsgebirges.¹⁾

Der beginnende Rückzug des nordamerikanischen Meeres während des Karbon und sein vollständiges Verschwinden am Ende des paläozoischen Zeitalters entspricht den ersten Zuckungen und dem späteren Höhepunkt der zweiten appalachischen Gebirgsbildung.

Ganz analoge Ereignisse spielten sich gleichzeitig in Europa ab, so die schwächere Faltung vor Ablagerung des Unterkarbon und die Aufrichtung der gewaltigen Kettengebirge während des Mittelkarbon im Herzen von Europa.

Jeder Aufwölbung oder Hebung des Meeresgrundes entspricht ein Vordringen des Ozeans in anderen Gebieten, da kein Anlaß vorliegt, periodische Veränderungen in der absoluten Menge des Meeresswassers anzunehmen. Die Tiefe des Ozeans beträgt über den als gleichmäßig eingeebnet angenommenen Kontinenten 2640 m. Dem Rückzuge des unterkarbonischen Meeres aus dem Gebiete der Appalachen entspricht eine bedeutendere Ausdehnung des Kohlenkalkes im Süden und Westen, d. h. im Mississippital und in den Rocky Mountains. Das Devon fehlt hier ganz oder ist als Old Red entwickelt, während der Kohlenkalk das mächtigste und verbreitetste Gebirgsglied darstellt. Im Westen von Nordamerika hat somit — im Gegensatz zum Osten des Kontinents — eine Ausdehnung und eine Vertiefung des Meeres stattgefunden. Während die mitteleuropäischen Alpen der jüngeren Karbonzeit emporgewölbt und weite Strecken dem Meere entrissen wurden, überfluteten Transgressionen im Norden (Timan, Spitzbergen und Davismeer) sowie im Mediterrangebiet ältere Kontinentalmassen.

1) Die aus gefalteten paläozoischen Schuppen bestehenden eigentlichen Appalachen werden im Südosten von dem niedrigen, aus zwei tektonischen Zonen zusammengesetzten „Piedmontplateau“ begrenzt. In seiner westlichen Zone treffen wir halbkristalline, nach Osten einfallende paläozoische Gesteine; die östlichen, nach Westen fallenden Gneise, Glimmerschiefer, Marmor und Quarzit besitzen viel höheres Alter. Die zwischen beiden Zonen senkrecht stehenden Schichten bedingen den Eindruck einer einheitlichen Säckerstruktur. Jedoch sind beide Hälften der Appalachen durch ein bedeutendes Zeitintervall und eine tiefgreifende Diskordanz getrennt; die Ostzone entspricht einer älteren, vielleicht einer kambro-silurischen Faltung.

II. Abgesehen von tektonischen Bewegungen, ist die Trockenlegung des Meeresbodens vielfach durch Ausfüllung der ozeanischen Tiefen mit Sediment zu erklären. In Schonen sehen im Hangenden der kambrischen und silurischen Tieffeebildungen mächtige Schiefer und Sandsteinmassen das obere Silur zusammen, und unmittelbar darauf folgt die Trockenlegung des Meeresgrundes.

Endlich stehen Gebirgsfaltung und Sedimentbildung zuweilen im Zusammenhang. Die mächtigen Anhäufungen von oberkarbonischen Konglomeraten, Sandsteinen und Schiefeln, sowie das Fehlen mariner Einlagerungen in den höheren Steinkohlenschichten ist nur durch die Ausfüllung der Inlandbecken (Waldenburg) oder der flachen Meere (z. B. der nordeuropäischen Steinkohlenzone) zu erklären. Das Material lieferten die kurz vorher entstandenen Hochgebirge; die bedeutende Abnahme der Sedimente der oberschlesischen Steinkohlenformation in östlicher Richtung stellt diese Bildungen als riesigen Schuttkegel dar, dessen Mächtigkeit sich mit der Entfernung von dem gesteinlinefernden Gebirge gleichmäßig vermindert.

Sechster Vortrag.

Dauer oder Veränderlichkeit der großen Weltmeere?

Die Frage der Veränderlichkeit des Meeresstandes (der Transgressionen und Regressionen) eröffnet einen Ausblick auf das uralte Problem der früheren geographischen Gestaltung der Erde oder, genauer gesagt, der Dauer der großen Meerestiefen und Festlandssockel. Während eine Reihe von Forschern wie Dana, Murray u. a. die großen durch die 200 m-Linie getrennten Ozeantiefen und die Kontinentalmassen für im wesentlichen unveränderlich halten, sind andere wie E. Sueß und Neumann für ihre Veränderlichkeit eingetreten. Die Frage nach der Dauer der Kontinente und Ozeane kann man mit Dacqué¹⁾ in vier Richtungen stellen:

1. Herrscht Permanenz in dem Sinne, daß die heutigen Kontinentalmassen, sowie die nichtkontinentalen Meeresbecken von jeher (seit kam-

1) Paläogeographie (Jena 1915, G. Fischer), S. 499.

brischer Zeit) an derselben Stelle lagen, womit auch die Tiefsee im wesentlichen an ihren jetzigen Punkten permanent geblieben wäre?

2. Waren heute die von Tiefsee eingenommenen Areale ehemals zum größten Teile seit Ende des Präkambrium Landoberflächen oder wenigstens flache Flachmeere (Epikontinentalmeere)?

3. Gab es einst ein allgemeines Weltmeer („eine Panthalassa“), und ist der Grund für sein Verschwinden in der Differenzierung der Erdoberfläche oder in einer unterdessen eingetretenen Verminderung des Meerwassers oder in beidem zusammen zu erblicken?

4. Gab es nur an einzelnen Stellen seit kambrischer Zeit permanente Tiefsee und permanente Kontinentalmassen, und haben sich späterhin neue, vielleicht von da ab permanent bleibende Tiefsee und neue Kontinentalmassen entwickelt?

| Für Permanenz der Tiefsee spricht | Gegen Permanenz der Tiefsee spricht |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Gleichbleibende Menge des Wassers, das bei dem nachweisbaren Vorhandensein von Festlandsarealen seit kambrischer Zeit und unter Voraussetzung nicht allzu großer Verkürzung des Erddurchmessers stets große Tiefen bedeckt hat. 2. Das Fehlen typischer Tiefseetone in den Formationen vom Kambrium bis zum Tertiär, bezw. das Vorhandensein von verhältnismäßig flachen und labilen Meeren (Epikontinentalmeeren) während der nachkambrischen Perioden auf den heutigen Festlandsarealen. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Notwendigkeit, paläogeographische Landverbindungen zu konstruieren in Regionen, die heute von Tiefsee eingenommen werden. 2. Das Auswandern von mesozoischen Typen in die Tiefsee. 3. Die scheinbaren Ausgleiche zwischen Tiefsee und Land in der jüngsten geologischen Vergangenheit (Westindien, Polynesien, Malta) und bis zu einem gewissen Grade auch in früheren Geosynklinalgebieten. |

Dacqué bekennt sich, wenn auch in ganz anderem Sinne als bisher, zu einer Nichtpermanenz der Kontinente. Nie konnte nach Bildung des Steinmantels seine oberste Lage („Sal“) zu der darunter liegenden Schichtmasse („Sima“) oder Sima zu Sal werden. Früher, in älteren geologischen Zeiten, lag weniger Sima an Meeresböden frei, weil die Kontinente ausgedehnter waren. Nach und nach wurden sie abgetragen und in ihrer Masse verringert. Was abgetragen wurde, bildete und bildet heute einen dünnen Überzug auf

dem kontinentalen Simaboden der Ozeane. Der Ozean ist und bleibt permanent.

Wir brauchen zu alledem keine Kontraktion des Erdinnern und noch weniger dessen höchst problematische Veränderungen. Alles, was wir an geologischen Vorgängen seit dem Anfange des Archaisms uns ausdenken können und was wir positiv kennen, hat sich auf dem oberflächlichen („salischen“) Krustengebiet abgespielt. Dieses minimale dünne Häutchen ist der Schauplatz alles dessen, was wir als Gegenstand der historischen Geologie behandeln. Gegenüber diesen für ihn ganz unwesentlichen äußerlichen Vorgängen steht der Erdkörper als Ganzes wie unberührt da und zeigt uns somit eine Stabilität seiner Konstitution und eine Permanenz seines Daseins, daß dagegen die aus oberflächlichen (salischen) Umlagerungen abgeleitete Zeitskala der Geologie, als ein flüchtiger Augenblick im Dasein der Erde erscheint, genau so, wie das Zeitalter des Quartärmenschen gegenüber den Zeiträumen der historischen Geologie. Diese ist somit nicht eine Geschichte der Erde, sondern nur eine Geschichte des obersten Teiles der Kruste.

Die Antwort auf die Frage nach der Dauer der Ozeane läßt sich in der Weise geben, daß man das Vorhandensein veränderlicher und unveränderlicher Erdräume anerkennt; mit anderen Worten: Für einzelne Teile der Oberfläche unseres Planeten ist eine recht erhebliche, für andere eine sehr geringe Veränderlichkeit nachweisbar. Zu den bleibenden Größen gehört vor allem der ganz überwiegend große Teil des Pazifischen Ozeans, das Reich des roten Tieffseetons mit seiner unendlich langsamen Wachstumszunahme. Meine vergleichenden stratigraphischen Studien, die den größten Teil der Erdgeschichte umfassen, ergeben, daß zu jeder Zeit ein weit ausgedehnter Austausch der mannigfaltigen Tierwelt im Umkreis des Pazifik stattgefunden hat. Dieser erdgeschichtlichen Tatsache und der gewaltigen Ausdehnung des roten Tons entspricht die Verteilung der großen Gräben, d. h. der zwischen Störungen abgesunkenen Streifen der Erdrinde in den Randgebieten der Weltmeere.

Die folgende Übersicht der ozeanischen Gräben mit ihren größten Tiefen zeigt zunächst, daß

1. die größte Zahl dem pazifischen Gebiet angehört,
2. im Pazifik diese Gräben den Randgebieten entsprechen.

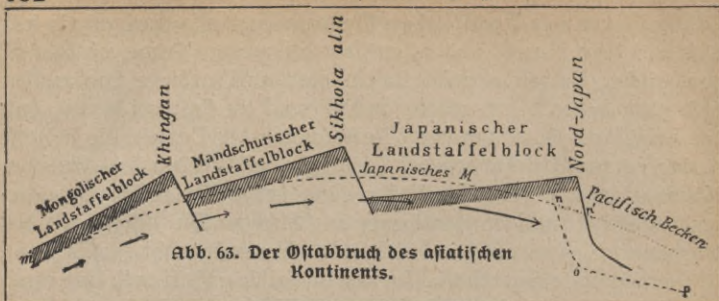
Die Mitte des Pazifischen Ozeans liegt also durchgängig höher als sein Rand, und es entsteht die weitere Frage, ob hier in geologischer Vorzeit einzelne Inseln oder auch größere Landmassen bestanden haben. Doch würde auch hierauf die Antwort lauten, daß der ungestörte Austausch der Meeresfaunen der Vorzeit, die äußerst geringfügigen Beziehungen der Landtiere zwischen den drei südlichen Kontinenten und die weite Verbreitung der Tiefseeabfäße das Vorhandensein ehemaliger Kontinente ausschließen. Die Möglichkeit des Vorhandenseins pazifischer Inseln wird hierdurch nicht berührt.

Die wichtigste Eigentümlichkeit der ozeanischen Gräben ist ihre randliche Lage und der bedeutende Höhenunterschied gegen die benachbarten Teile des Festlandes. Nach einer neuerlichen Zusammenstellung beträgt der Unterschied zwischen dem Grabenboden und der Festlandshöhe selten unter 10 km, steigt aber bei Taltal an der chilenischen Küste sogar bis auf 14 km.¹⁾ Ohne auf die sonderbare Hypothese einzugehen, nach der die Erdkruste sich nach dem Vorbilde der Kantenverteilung eines Tetraeders umformen soll, sei doch darauf hingewiesen, daß schon die Lage der Gräben im Randgebiet des Pazifischen Ozeans das hohe Alter dieses Beckens beweist.

Bei einigen dieser pazifischen Gräben betragen die Tiefen des Meeresgrundes und die benachbarten Maximalhöhen:

| | Tiefe der Gräben | Höhe des angrenzenden Landes | Höhen- unterschied ca. |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1. Marianen-Gr. | — 9636 | + 490 m | 10 100 m |
| 2 a. Kermadec-Gr. | — 9427 | + 523 " | 10 000 " |
| 2 b. Tonga-Graben | — 9184 | + 920 " (Kao) | 10 100 " |
| 3. Philippinen-Gr. | — 8900 | + 1894 " (Mindanao) | 10 800 " |
| 4. Kurilen-Graben | — 8513 | + 1264 " (Urup) | 9 800 " |
| 5. Aleuten-Graben | — 7314 | + 2675 " (Unmaf) | 10 000 " |
| 6. Atacama-Graben | | | |
| a) Taltal | — 7635 | + 6620 " (Elulleilan) | 14 300 " |
| b) Arequipa | — 6867 | + 6100 " (Misti) | 13 000 " |
| c) Iquique | — 6541 | + 6415 " (Sahama) | 13 000 " |
| d) Lima | — 6159 | + 4834 " (P. d. S. Mateo) | 11 000 " |
| 7. Riu-Kiu-Gr. | — 7100 | + 700 " | 7 800 " |
| 8. Sunda-Graben | — 7000 | + 3872 " (Java) | 10 500 " |

1) Arldt, Globus 1908.



Daß bei dem gewaltigen Ausmaß dieser Höhenunterschiede die Festlandschollen nach der Tiefe hin gezerrt werden und sich gleichzeitig auf dem Festland selbst randlich aufbiegen, ist von Richt hof en überzeugend nachgewiesen worden. Man darf aber diese auf Volumenverminderung beruhende Zerrung nach der ozeanischen Tiefe nicht mit der Stauung oder Faltung verwechseln, wie sie in den Alpen oder dem Himalaja¹⁾ erfolgt ist, und darf daher auch in diesen Randgebirgen nur eine ozeanische und kontinentale Seite, nicht aber eine Außen- oder Innenseite der Gebirge unterscheiden.

Ganz anders als das uralte Pazifische Mittelmeer ist die geologische Entstehung der beiden anderen Ozeane zu erklären. Die Entstehung des Indischen Ozeans gehört der Mitte und dem Ende der mesozoischen Ära an; während des ganzen Altertums der Erdgeschichte und während der darauf folgenden Triaszeit bestand ein gewaltiger südlicher Kontinent, dessen Fragmente in Süd- und Zentralafrika, Vorderindien und dem Hauptteil des australischen Kontinents erhalten sind. Diese Landmassen stehen also an Alter dem Pazifischen Ozean ungefähr gleich. Am Beginn der Jurazeit setzen die gewaltigen Brüche ein, welche im Verlaufe von Jura- und Kreidezeit den Indischen Ozean im wesentlichen in seiner heutigen Gestalt schufen. Nur der schmale Graben des Roten Meeres gehört dem jüngeren Tertiär an.

Auch die Grabeneinbrüche, welche die einzelnen stehengebliebenen Teile (Horste) voneinander trennen, so vor allem der Graben von Mozambique, haben eine andere Bedeutung als die Gräben des Pazifischen Ozeans. In der Nähe der letzteren ist während langer Zeiträume

1) D. h. in einer wirklichen Geosyncline.

eine seitlich zerrende Bewegung der Kontinentalschollen vor sich gegangen, welche die Randgebirge und Festland-Inseln in Ostasien infolge seitlicher Aufbiegung entstehen ließ (Abb. 50). Das Rote Meer und der Graben von Mozambique sind dagegen als einfache Streifen in die Tiefe gebrochen, ohne das angrenzende Land zu beeinflussen. Den Übergang zwischen den uralten Senkungen des Pazifischen Ozeans und den zeitlich weniger weit zurückliegenden Brüchen des Indischen Ozeans bilden die von W. Volz¹⁾ genauer erforschten großen Sunda-Inseln Sumatra und Java.

Die Zerrung des Kontinentalrandes nach der ozeanischen Tiefe ist durchweg wahrnehmbar, und der Betrag der Bewegung wächst in der Richtung nach SO, d. h. mit der Annäherung an das eigentliche pazifische Gebiet. In Nord-Sumatra erreicht die alte Grundlage der Insel noch Höhen von 2500 m; im mittleren und südlichen Sumatra zeigen die größten Meereshöhen des anstehenden Gesteins nicht mehr als 2000 m. Auf Java bleiben auch die jüngeren Meeresbildungen (des Tertiärs) unter 1200 m, und älteres Gebirge tritt hier kaum noch zu Tage. Auf den kleinen Sunda-Inseln in der unmittelbaren Fortsetzung von Java sind es fast nur noch Vulkane, welche die Meeresfläche überragen. Im gleichen Verhältnis, wie der Anteil der Sedimentgesteine am Aufbau der Insel abnimmt, wächst die Zahl und Bedeutung der jungen Vulkane, und man kann sagen, daß die kleinen Sunda-Inseln schließlich den Aleuten oder Riu-Kiu-Inseln in bezug auf die Zusammensetzung gleich werden.

Man darf daher wohl annehmen, daß in Sumatra noch die geringere Ausdehnung der nach dem Sunda-Graben gerichteten Zerrungen an den normalen Bau der Umgebung des Indischen Ozeans erinnert, daß Java einen Übergang darstellt, und daß die kleinen Sunda-Inseln bereits mit den Girlandeninseln Ostasiens übereinstimmen. Trotz dieser Übergangsgebiete ist jedoch die Entwicklung und Entstehung des Meeresgrundes im Indischen und Pazifischen Weltmeer wesentlich verschieden.

Die Gräben des Indischen und des Pazifischen Ozeans sind daher keineswegs gleichwertig²⁾; die ersteren verdanken ihre Entstehung einem einmaligen Einbruch, der die angrenzenden Festländer unbe-

1) Vgl. u. a. Berliner Zeitschr. f. Erdkunde 1907, S. 662 ff.

2) Und etwa unter der Bezeichnung „Geosynklinalen“ zusammenzufassen.

einflußt ließ, die pazifischen Gräben befinden sich dagegen seit außerordentlich langen Zeiten im Zustande der Senkung, und dem entspricht das seitliche Nachrutschen der angrenzenden Festlandschollen.

Daß sich diese untermeerischen Vertiefungen allmählich mit Sedimenten des Ozeans füllen und dann später, gleich den Alpen und den älteren Appalachen, als Faltungsgebirge emporsteigen werden, ist denkbar, aber keineswegs sicher, für die pazifischen Gräben jedoch nicht einmal wahrscheinlich.¹⁾

Am wenigsten einheitlich ist die zeitliche Entstehung des Atlantischen Ozeans. Wie derselbe jetzt aus einem durch eine untermeerische Schwelle abgegliederten südlichen und einem nördlichen Teil besteht, so sind auch diese beiden Teile in ihrer Entstehungszeit verschieden. Die nördliche Trennung von Europa und Nordamerika ist in viel späterer (jungtertiärer) Zeit erfolgt als die Entstehung des in vieler Beziehung rätselhaften südlichen Beckens. Daß auch hier noch ganz junge Senkungen stattgefunden haben, geht wohl mit Sicherheit aus der untermeerischen Fortsetzung des Flußbettes des Kongo hervor. Aber während z. B. für den Indischen Ozean ganz sichere tektonische Beweise für die Entstehung der Randspalten und den Zusammenhang der Tierwelt von Afrika, Madagaskar und Ceylon vorliegen, lassen uns diese Erwägungen hier im Stich. Allerdings zeigt die Tierwelt der Binnengewässer des jüngsten Paläozoikum Verwandtschaft zwischen Brasilien und Südafrika, und das geologische Alter des außerandinen Südamerikas ist jedenfalls sehr hoch einzuschätzen. Vor dieser jung-paläozoischen Landperiode hat sich in der Mitte der paläozoischen Ära (im Unter- und wohl auch im Mittel-Devon) ein Meer von Südafrika bis zu den Falklandinseln und dann weiter unmittelbar bis Bolivia ausgedehnt.²⁾ Das sind die sicheren Anhaltspunkte, die jedenfalls eine bedeutende Veränderlichkeit des südatlantischen Gebietes beweisen, ohne uns ein Eindringen in Einzelheiten zu ermöglichen.

Abgesehen von den vier Fragmenten alter Landmassen auf der Südhemisphäre sind auch auf der nördlichen Halbkugel drei alte Kon-

1) Keinesfalls ist es geographisch oder geologisch gerechtfertigt, die heutigen Gräben der Ozeane ebenso wie die in älterer oder jüngerer Zeit aufgefalteten Gebirge wie Ural und Alpen mit demselben Ausdruck als „Geosynklinen“ zu bezeichnen.

2) Srech, Handbuch der Erdgeschichte. Der Ozean wurde später von Schwarz nach einer Brachiopodenart das „Stabellites-Meer“ genannt.



Abb. 64. Die mit Pinienwald bedeckte Punta di Porto-Sino bei Rapallo. Tertiäre, flach nach Westen geneigte Konglomeratbänke bilden die Küste und zeigen ihre Unbeständigkeit an. Die in tertiärer Zeit gebildeten Brandungsfonglomerate sind später gehoben und werden jetzt wieder vom Meere zerstört.

tinentalgebiete, der kanadische Schild, Fennoskandia (Skandinavien und Finnland) und der „alte Scheitel Asiens“, d. h. die nördlich und nordöstlich vom Tibet gelegene Zentralerhebung übriggeblieben. Die verschiedene Verteilung von Land und Meer auf beiden Halbkugeln zeigt, daß diese ursprünglichen alten Massen durch geologisch jüngere Landgebilde miteinander vereinigt worden sind.

Die Randmeere und Mittelmeere, die ganz oder überwiegend im Bereich der Kontinentalsockel liegen, haben die verschiedenartigsten Veränderungen in der Verteilung von Festland und Meer durchgemacht. Insbesondere zeigt das europäische oder romanische Mittelmeer einen ebenso häufigen wie einschneidenden Wechsel seiner Grenzen. (Abb. 64.) Auf die Beobachtungen an diesen Mittelmeeren gründet sich vornehmlich die Lehre von der Veränderlichkeit der Meeresküste.

Schluß.

Fassen wir zusammen! Das Weltmeer umbraust an den Küsten tropischer Koralleninseln dieselben Gesteine wie der Sturm auf den einsamen Gipfeln des Hochgebirges. Es bedurfte der zu gewaltiger Massenwirkung gesteigerten Arbeit winziger Wesen, um im Laufe geologischer, d. h. für unser Begriffsvermögen unfaschbarer Zeitläufe

die Schichten zu bilden und die Riffbauten auszuführen, welche umfangreiche Teile der Erdrinde zusammensetzen.

Die Zuckungen, die periodisch, d. h. durch lange Ruhepausen unterbrochen das Gefüge der alten Erde durchzittern und in Erdbeben sowie in der Aufwölbung von Gebirgen wahrnehmbar sind, haben die auf dem Grunde des Ozeans gebildeten Gesteine zu den Gipfeln der Hochgebirge emporgetragen. Die Kräfte der atmosphärischen Zerstörung — Verwitterung und Kumpflächchenbildung, normale Erosion und Wildbäche — arbeiten unausgesetzt an der Zerstörung der stolzen Gipfel, und das Wasser der Flüsse führt den Seebecken der Kontinente und vor allem dem Ozean die zerriebenen oder gelösten Kalke von neuem zu.

Zwar gibt die Geologie über die erste Entstehung organischer Wesen ebensowenig Aufschluß wie über die Differenzierung des Tier- und Pflanzenreiches oder über die Ausbildung der Hauptstämme der wirbellosen Meerestiere. Jedoch läßt sich nicht verkennen, daß die einschneidende Klimaänderung der Dnaszeit ebenso mit einer einschneidenden Umprägung der organischen Welt zusammenhängt wie die Wende von Kreide und Tertiär mit der Abkühlung und Wiedererwärmung des irdischen Klimas.

Anhang.

Eine Übersicht der Entwicklung der Erde und ihrer Bewohner ist — abgesehen von einigen Hinweisen im V. Vortrag — nicht der Zweck des vorliegenden Bandes, der vor allen die Zusammensetzung der Erdrinde schildern soll. Doch ist dem Bändchen am Schluß ein Anhang beigegeben worden, der wenigstens eine Übersicht der geologischen Formationen und der Entwicklung des Lebens auf der Erde bringt.

Infolgedessen bildet der folgende Anhang einen Wegweiser für alle Vorträge (III—VI), in denen von der Altersfolge der Perioden oder den ihnen entsprechenden geologischen Formationen die Rede ist.

Die geologischen Perioden

| | | | |
|--|---|--|--|
| V. Känozoikum. | | | |
| Gegenwart (Alluvium) | } Wieder- erwärmung Eiszeit | } Herrschaft | } des Men- schen. Herrschaft der Warmblüter (Säugetiere und Vögel) und der Blütenpflanzen |
| Quartär (Diluvium) | | | |
| Certiär (Basalt) | } Abkühlung | } Auftreten | |
| Pliozän | | | |
| Miozän } (Braun- Oligozän } kohlen) } | | | |
| Eozän | } Wieder- erwärmung | } | |
| IV. Mesozoikum. | | | |
| Kreide obere untere | } Abkühlung | } | } Herrschaft der wechselwarmen Reptilien, Koniferen, Sago- palmen. |
| Jura oberer (Malm) mittlerer (Dogger) unterer (Lias) | | | |
| Trias (Eruptivgesteine) obere (Keuper) mittlere (Muschelkalk) untere (Buntsandstein) | } Warmes Klima | } | |
| III. Paläozoikum. | | | |
| Dyas obere (Zechstein) untere (Rotliegendes) | } Klima wechselnd Eiszeit | } Auftreten der Reptilien. | |
| Karbon (Eruptivgesteine) u. a. b. oberes (Kohlenbildung) unteres | | | } |
| Devon Ober- Mittel- Unter- | } Wahrscheinlich gleichmäßiges warmes Klima | } Auftreten der niedersten fischartigen Wirbeltiere und der Kryptogamen. | |
| Silur Ober- Unter- | | | } ?? Eiszeit |
| Kambrium Ober- Mittel- Unter- | II. Präkambrium. | | |
| I. Archaisum. | | | |

Eine Erstarrungskruste, die die Grundlage aller Meeresedimente und vulkanischen Ausbrüche bildet, ist in unzweideutiger Weise petrographisch noch nicht nachgewiesen.



Verzeichnis

der Abbildungen mit genauer Angabe des Ursprungs.

Titelbild: Panorama der Hochflächen des Riesengebirgskammes, vom Westabhang der Schneefoppe aus aufgenommen.
(Phot. von Prof. Dr. M. Friederichsen.)

| Abb. | Seite |
|--|-------|
| 1. Gipschlotten (Erdfälle) in den Mergeln der weißen Kreide von Galizisch-Podolien. (Nach v. Lozinski) | 6 |
| 2. Adersbacher Felsen. Eingang zur Felsenstadt. Quadersandstein der oberen Kreideformationen. (Nach einer Aufnahme der Neuen Photogr. Gesellschaft, A.-G.) | 8 |
| 3. Verwitterung des Granits: Das „Kazenschloß“ bei der Schlingelbaude. Nordabhang des Riesengebirges. Ostflügel. (Nach Photographie von M. Friederichsen) | 9 |
| 4. Geschichteter Buntsandstein bei Heidelberg mit Verwitterungsrinde, d. h. Bodentrümme des Waldbodens. (Nach Ruska) | 11 |
| 5. Käsegrotte bei Bertrich (Eifel). (Nach Photographie) | 12 |
| 6. Zersetzung des triadischen Eruptivgesteins (Trapp oder Basalt). Wadesborough. Nordcarolina. (Nach Originalaufnahme der Geological Survey of America) | 13 |
| 7. Denudationschlucht im Granit an der Südküste von Australien (Neptune Island, Jan. 1905). (Nach einer Original-Aufnahme von Dr. H. Basedow) | 22 |
| 8. Mittelgebirge im Granit. Die Große Schneegrube mit dem innersten Moränenwall. (Nach einer Photographie von M. Friederichsen) | 27 |
| 9. Saffolith. (Nach Wagner) | 28 |
| 10. Der Hans-Heiling-Felsen im Egertal bei Karlsbad. (Nach Photographie von Edert) | 29 |
| 11. Lurlei-Felsen, St. Goar. (Nach Photographie) | 30 |
| 12. Der Plattensteinbruch im Quarzporphyr des Hochberges bei Gottesberg in Schlefien. (Nach einer Originalaufnahme v. G. Dnhrenfurth) | 32 |
| 13. Die Adersbacher Felsen. (Nach einer Photographie von Edert) | 33 |
| 14. Gegend von la Mothe-Chalançon (Drôme). (Nach Photographie von W. Kilian) | 35 |
| 15. Zeugenberg in der Wüste der Halbinsel Arabiens und Bildung einer Rumpffläche (im Vordergrund). (Aus Zeitschrift für Geschichte der Erdkunde) | 39 |
| 16. Die Riesenteulen (Giant-Clubs) am Green River. (Nach Photographie der Geological Survey of America) | 40 |
| 17. Nadel-felsen (Needle Rock). Eigentümlicher Zeugensfels. (Nach Photographie) | 41 |

| Abb. | Seite |
|--|-------|
| 18. Querprofil des westfälischen Steinkohlenreviers nach der Linie Hattingen—Gelsenkirchen—Dorsten. (Nach Kufuf) | 42 |
| 19. Die Teufelsberge (Sierra del Diablo), Texas. (Nach einer Originalaufnahme von v. d. Borne) | 43 |
| 20. Die Karroo-Steppe in Südafrika. (Nach E. Philippi) | 44 |
| 21. Sandstein der Sierra del Diablo (Texas) mit windgeschliffener Säule. (Nach einer Originalaufnahme von v. d. Borne) | 45 |
| 22. Blockstrand und Steilküste von Helgoland. (Nach Wagner) | 48 |
| 23. Helgoland. (Nach Photographie) | 49 |
| 24. Abgestürzter Kreidetakelblock unterhalb des Achilleion (Korfu) als Pilzfelsen durch die Brandung umgestaltet. (Originalaufnahme von C. Renz) | 50 |
| 25. Strandlinien auf Berghatten (von Norden). (Nach Reusch) | 50 |
| 26. Verbreitung alter Brandungsterrassen auf der Insel Bömmelöen. (Nach Reusch) | 51 |
| 27. Stoltera bei Warnemünde. (Nach Geinitz) | 52 |
| 28. Kliffküste bei Wisby, Insel Gotland. (Nach Photographie) | 52 |
| 29. Normales Bild einer Transgression bei Montmorency Falls, Montreal, Canada. (Nach Photographie) | 54 |
| 30. Torquay, Süd-Devonshire. (Nach Photographie) | 55 |
| 31 a. Eissabon mit drei Strandlinien. (Nach Maryland Geological Survey) | 56 |
| 31 b. Kap San Augustin (Spanien) mit einer Strandlinie. (Desgl.) | 56 |
| 31 c. Kap Tafalgar mit zwei eingeschnittenen Strandlinien. (Desgl.) | 56 |
| 31 d. Die jungpliozänen und quartären aufgeschütteten Terrassen auf der Küstenebene von Maryland. (Desgl.) | 56 |
| 32. Kreuzgeschichteter Sand, abgelagert von Bächen der Voreiszeit, unter Geschiebemergel (= Grundmoräne). Westküste von SpIt. (Nach einer Photographie von Schrader) | 60 |
| 33. Sandstein, kreuzgeschichtet, vom Winde ausgenagt, am Nordrande des Uadi Faregh. (Nach Stromer) | 61 |
| 34. Urtiergehäuse aus dem Tiefseeschlamm bei 600facher Vergrößerung. (Nach Sittel) | 66 |
| 35. Unterkambrischer (Eophyton-) Sandstein, die Steilküste des Grint in Estland bildend. (Nach einer von Frau Prof. Dames freundlichst überlassenen Photographie) | 69 |
| 36. Ilfracombe, Nord-Devonshire. (Nach Photographie) | 71 |
| 37. Küstenbild aus Tasmania. Geröllschieferfels (wohl geschichtet) durch Brandung zerstört. (Nach F. Noetling) | 72 |
| 38. Bildung eines Steinsalzlagers in einem Meerbusen hinter einer Barre. (Nach Ohsenius) | 74 |
| 39. Querprofil durch den oberen Zechstein mit Stein- und Kalisalzen bei Neustadt. (Nach Heusler) | 75 |
| 40. Nordende des Golfs von Kalifornien. Kartenskizze der Salzpflanze von Salton Sink. (Aus „Die Naturwissenschaften“. Verl. Julius Springer, Berlin) | 76 |

| Abb. | Seite |
|---|-------|
| 41. Schnitt durch das Kalimutterlager des Berlepsch-Schächtes bei Staßfurt 1:25. (Desgl.) | 79 |
| 42a. Ein durch Talbildung bedingtes Ekzem wird einmal transgrediert und erstickt. (Nach Lachmann). | 81 |
| 42b. Ausbildung eines Reihenezems auf einem Sattelgrat. Einmalige Transgression und Erschöpfung. (Desgl.). | 81 |
| 43. Reihenezem auf einer Verwerfung. Transgression, Erstickung und Wiederaufleben. (Desgl.) | 82 |
| 44. Profil durch den Hildesheimer Wald nordwestlich von Diekholzen. (Desgl.). | 83 |
| 45. Salzetzem am Mexikanischen Golf. (Desgl.) | 84 |
| 46. Salzetzem in Siebenbürgen am Marosfluß. (Aus „Die Naturwissenschaften“ Verlag v. Julius Springer, Berlin) | 85 |
| 47. Profil des Salzetzems Petit Anse, Süd-Louisiana. (Desgl.) | 85 |
| 48. Profil des Salzetzems Drafes Saline, Nord-Louisiana. (Desgl.) | 85 |
| 49. Profil durch das obere Allertal nach Kirschmann. | 86 |
| 50. Korallenwachstum in dem großen australischen Saumriff. (Nach Saville Kent) | 92 |
| 51. Wachsender Teil (Crescent Reef) des äußeren Barrierenriffs bei Ebbe. (Desgl.) | 96 |
| 52. Entstehung eines Atolls aus dem Saumriff einer sinkenden Insel. (Nach Darwin und Dana) | 98 |
| 53. Südtiroler Riffe. (Nach E. von Mojsisovic) | 99 |
| 54. Querschnitt durch das Korallenriff der Insel Masamarhu im südlichen Roten Meer. (Nach Maclean) | 101 |
| 55. Querschnitt durch die große Bahama- und Salt-Kay-Bank. (Nach Agassiz). | 103 |
| 56. Profil durch die Koralleninsel Mateika des Sunafuti Atolls. (Nach C. Sweet) | 104 |
| 57. Schädelriff (Scull Reef). (Nach Saville Kent) | 105 |
| 58. Die Schichtung in den Wänden des großen Colorado-Cañons. (Aus Cambrian Geology and Palaeontology by Ch. D. Walcott) | 112 |
| 59. Langkofelgruppe über der Seiser Alp. (Aufnahme von Sella). | 114 |
| 60. Der Koppentkarstein am Dachstein. (Nach S. von Simony) | 115 |
| 61. Der Südbsturz des Grimings (Südost-Ausläufer des Dachsteingebirges). (Desgl.) | 116 |
| 62. Diskordanz zwischen Potomac-Formation (Unterkreide) und Columbia-Formation (Diluvium). (Erosionsriß am Potomac unweit Washington. (Nach Photographie) | 126 |
| 63. Der Ostabbruch des asiatischen Kontinents. (Nach S. v. Richthofen) | 132 |
| 64. Die mit Pinienwald bedeckte Punta di Porto-Fino bei Rapallo. (Nach Photographie) | 135 |

Leubners kleine Fachwörterbücher

geben rasch und zuverlässig Auskunft auf jedem Spezialgebiete und lassen sich je nach den Interessen und den Mitteln des Einzelnen nach und nach zu einer Enzyklopädie aller Wissenszweige erweitern.

„Mit diesen kleinen Fachwörterbüchern hat der Verlag Leubner wieder einen sehr glücklichen Griff getan. Sie ersetzen tatsächlich für ihre Sondergebiete ein Konversationslexikon und werden gewiß großen Anklang finden.“ (Deutsche Warte.)

„Die Erklärungen sind sachlich zutreffend und so kurz als möglich gegeben, das Sprachliche ist gründlich erfaßt, das Wesentliche berücksichtigt. Die Bücher sind eine glückliche Ergänzung der Bände „Aus Natur und Geisteswelt“ des gleichen Verlags. Selbstverständlich ist dem neuesten Stande der Wissenschaft Rechnung getragen.“ (Sächsishe Schulzeitung.)

Bisher erschienen:

- Philosophisches Wörterbuch** von Studentat Dr. P. Thormeyer. 3. Aufl. (Bd. 4.) Geb. RM 4.—
- * **Psychologisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. J. Giese. 2. Aufl. Mit zahlr. Fig. (Bd. 7.)
- Wörterbuch zur deutschen Literatur** von Oberstudientat Dr. H. Köhl. (Bd. 14.) Geb. RM 3.60
- Musikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. J. Moser. (Bd. 12.) Geb. RM 3.20
- * **Kunstgeschichtliches Wörterbuch** von Dr. H. Vollmer. (Bd. 16.)
- Physikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. G. Berndt. Mit 81 Fig. (Bd. 5.) Geb. RM 3.60
- Chemisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. Remß. Mit 15 Abb. u. 5 Tabellen. (Bd. 10/11.) Geb. RM 8.60, in Halbin. RM 10.60
- * **Astronomisches Wörterbuch** von Dr. J. Weber. (Bd. 13.)
- Geographisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Kende. Allgemeine Erdkunde. Mit 81 Abb. (Bd. 8.) Geb. RM 4.60
- Zoologisches Wörterbuch** von Dr. Th. Knottnerus-Meyer. (Bd. 2.) Geb. RM 4.—
- Botanisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Gerke. Mit 103 Abb. (Bd. 1.) Geb. RM 4.—
- Wörterbuch der Warenkunde** von Prof. Dr. M. Pietsch. (Bd. 3.) Geb. RM 4.60
- Handelswörterbuch** von Handelschuldirektor Dr. V. Sittel und Justizrat Dr. M. Strauß. Zugleich fünfsprachiges Wörterbuch, zusammengestellt v. V. Armhaus, verpfl. Dolmetscher. (Bd. 9.) Geb. RM 4.60

* [in Vorbereitung bzw. unter der Presse 1926]

Grundzüge der Länderkunde

Von Prof. Dr. A. Hettner. 2 Bde. m. 466 Rärtchen, 4 Taf. u. Diagr. i. Z.
I.: Europa. 3., verb. Aufl. Geh. RM 11.—, in Ganzl. RM 13.—. II.: Die außereuropäischen Erdteile. 3., verb. Aufl. Geh. RM 14.—, in Ganzleinen RM 16.—

„Hier haben wir das, was uns gefehlt hat, ein Buch von Meisterhand geschrieben, für die weiten Kreise der Gebildeten. Das Werk ist reich an neuen Gedanken. Ein Prachstück ist z. B. der großartige Überblick über die politische Geschichte Europas vom geographischen Standpunkt gesehen.“
(München-Augsburger Abendzeitung.)

Allgemeine Wirtschafts- u. Verkehrsgeographie

V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Sapper. Mit 70 kartogr. Darst. Geh. RM 12.—

„Ein erstaunliches Werk! — Erstaunlich durch die Fülle des darin gebotenen wissenschaftlichen Inhaltes, in dem ein seltener Reichtum eigener Erfahrungen des weitestestren Verfassers verwebt ist und der noch durch eine ungewöhnlich umfangreiche und wertvolle Literaturangabe ergänzt wird. . . Sappers 'Allgemeine Wirtschafts- und Verkehrsgeographie' muß schließlich als 'erschöpfend' bezeichnet werden.“
(Neues Land.)

Anthropologie

Unt. Red. v. Geh. Med.-Rat Prof. Dr. G. Schwalbe u. Prof. Dr. E. Fischer.

M. 29 Abb.-Taf. u. 98 Abb. i. Z. (Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. V.) RM 26.—, geb. RM 29.—, in Halbl. RM 34.—

Eine Gesamtdarstellung der Urgeschichte, Menschen- und Völkerkunde.

Physik

Unt. Red. v. Hofrat Prof. Dr. E. Lecher. 2., verb. u. verm. Aufl. Mit 116 Abb.

(Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. III, Bd. 1.) Geh. RM 94.—, geb. RM 96.—, in Halbleder RM 40.—

„Der Herausgeber hat ein Werk geschaffen, das in gerader vorbildlicher Weise die Wissenschaft popularisiert. Die einzelnen Abschnitte sind von den ersten Autoritäten bearbeitet, und zwar so, daß sie w. wissen Kreisen verständlich sind.“
(Der elektrische Betrieb.)

Grundriß der Astrophysik

Eine allgemeinverständliche Einführung in den Stand unserer Kenntnisse über die physikalische Beschaffenheit der Himmelskörper. Von Prof. Dr. R. Graff. [Erscheint Anfang 1927.]

Inhalt. I. Teil. Die astrophysikalischen Forschungsverfahren. 1. Physikalische Grundlagen. 2. Die Himmelsphotographie. 3. Die Spektralanalyse. 4. Die Photometrie. II. Teil. Die Ergebnisse der astrophysikalischen Forschung. 5. Die Sonne. 6. Die Weltkörper des Sonnensystems. 7. Die Fixsterne, Nebelwolke und Sternhaufen.

Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

„Die Bände dieser vorzüglich geleiteten Sammlung stehen wissenschaftlich so hoch und sind in der Form so geistig und so ansprechend, daß sie mit zum Besten gerechnet werden dürfen, was in vorstümlicher Naturkunde veröffentlicht worden ist.“
(Natur.)

Verzeichnis vom Verlag, Leipzig, Poststraße 3, erhältlich.

Mathematisch-Physikalische Bibliothek

Herausgeg. von W. Liehmann u. A. Witting. Jeder Band RM 1.20, Doppelband RM 2.40

„Jede der einzelnen Darstellungen ist mustergültig in ihrer Art und vermag den Zweck voll zu erfüllen, in leichtverständlicher und angenehmer Weise zur Vertiefung der mathematischen Bildung beizutragen. Die Sammlung wird auf das allernachdrücklichste empfohlen.“
(Die Quelle.)

Verzeichnis vom Verlag, Leipzig, Poststr. 3 erhältlich.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Künstlerischer Wand- und Schmuck für Haus und Schule

Teubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfeile farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus
Die Samml. enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (RM 10.-), 75×55 cm (RM 9.-), 109×41 cm bzw. 93×41 cm (RM 6.-), 60×50 cm (RM 8.-), 55×42 cm (RM 6.-), 41×30 cm (RM 4.-), 7 kleine Kunstblätter: 24×18 cm je RM 1.— **Geschmackvolle Rahmung aus eigener Werkstatt.**

Neuererscheinungen:

Zwei Weihnachtsgemälde und zwei Osterbilder von A. Kämmerer.

1. Morgen Kinder, wird's es geben. 2. Vom Himmel hoch da komm ich her. — 1. Ostern, Ostern ist es heur'. 2. Osterhase schleicht ums Haus. (41×20 cm) Preis je RM 9.—
Postkartenausgabe je RM —.15. Bilder einzeln gerahmt in weißem Rahmen unter Glas je RM 8.25, die zusammengehörigen Bilder als Wandstriebe gerahmt je RM 18.50.
Postkarten unter Glas mit schwarzer Einfassung, mit Aufhängefäden je RM —.65, in schwarz poliertem Rahmen mit Glas je RM —.85

Schattenbilder

A. W. Diefenbach „Per aspera ad astra“. Album, die 94 Teils. des vollst. Wandstriebes fortlaufend wiederz. (25×20 1/2 cm) RM 15.—. Teilsbilder als Wandstriebe (80×42 cm) je RM 5.—, (35×18 cm) je RM 1.25, auch gerahmt in verschied. Ausführ. erhältlich.
„Göttliche Jugend“. 2 Mappen, mit je 20 Blatt (34×25 1/2 cm) je RM 7.50. Einzelbilder je RM —.60, auch gerahmt in versch. Ausführ. erhältlich.

Kindermusik. 12 Blätter (34×25 1/2 cm) in Mappe RM 6.—, Einzelblatt RM —.60

Serda Luise Schmidts Schattenzeichnungen (20×15 cm) je RM —.50. Auch gerahmt in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Blumenorakel. Reisspiel. Der Besuch. Der Liebesbrief. Ein Frühlingsstrauß. Die Freunde. Der Brief an „Ihn“. Annäherungsversuch. Am Spinnet. Beim Wein. Ein Märchen. Der Geburtstag.

Friese zur Ausschmückung von Kinderzimmern

Neu: „Die Wanderfahrt der drei Wichtelmännchen.“ Zwei farbige Wandstriebe von M. Ritter. 1. Abschied - Kurze Kasse. 2. Hochzeit - Tanz. Jeder Strieb mit 2 Bildern (109×41 cm) RM 6.—, jedes Bild einzeln RM 3.—
Setzer sind erschienen Herrmann: „Achenbrödel“ u. „Kostäppchen“; Vaurneind: „Die sieben Schwaben“; Rehm-Victor: „Schlaraffenleben“, „Schlaraffenland“, „Englein zur Wacht“ und „Englein 3. Gut“ (109×41 cm, je RM 6.—).

Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter, Jesus der Kinderfreund, Das Abendmahl, Hochzeit zu Kana, Weihnachten, Die Bergpredigt (75×55 bzw. 60×50 cm). RM 9.— bzw. RM 8.—.
Diese 6 Blätter in Format **Biblische Bilder** in Mappe RM 4.50, als 36×28 unter dem Titel Einzelblatt je RM —.75

Karl Bauers Federzeichnungen

Charakterköpfe zur deutschen Geschichte. Mappe, 32 Bl. (36×28 cm) RM 5.—
12 Bl. RM 2.—
Aus Deutschlands großer Zeit 1913. In Mappe, 16 Bl. (36×28 cm) RM 2.50
Führer und Helden im Weltkrieg. Einzelne Blätter (36×28 cm) RM —.50
2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je RM 1.—

Teubners Künstlerpostkarten

Jede Karte RM —.10, Reihe von 12 Karten in Umschlag RM 1.—.

Jede Karte auch gerahmt. Verzeichnis vom Verlag in Leipzig.

Ausführlicher Wandschmuckkatalog für RM —.75 vom Verlag, Leipzig, Poststr. 3 erhältlich.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301486



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000295977