

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100088303

63
686

LEHRBUCH DER GEOLOGIE UND MINERALOGIE FÜR HÖHERE SCHULEN

GROSSE AUSGABE
FÜR REALGYMNASIEN UND OBERREALSCHULEN
SOWIE ZUM SELBSTUNTERRICHT

VON

PROF. DR. PAUL WAGNER

MIT 322 ABBILDUNGEN UND 4 TAFELN

SECHSTE VERBESSERTE AUFLAGE



EG



1925.1102

VERLAG UND DRUCK VON B. G. TEUBNER · LEIPZIG · BERLIN 1917

Preis 3 M.



Mr. 20445.



100209N/1



ALLE RECHTE,
EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN.

Einleitung.

Wenn wir unserer Erde das Pflanzenkleid rauben, zeigt sie sich an den meisten Teilen ihrer Oberfläche bedeckt mit lockeren Massen: Gesteinstrümmern, Sand, Ackererde usw. Aber diese Decke ist nur ein dünnes, oft zerrissenes Kleid, unter dem in geringer Tiefe starrer *Fels* liegt. Zahlreiche Steinbrüche, steile Talwände enthüllen uns dessen Natur, und wie mannigfaltig er zusammengesetzt sein kann, lehrt schon ein Gang durch die Straßen der Stadt. Fußsteigplatten, Pflastersteine, Treppenstufen aus scheckigem *Granit*, Schotter aus schwarzem *Basalt*, Häuser aus *Sandstein*, *Marmor*-denkmäler auf dem Friedhofe, dunkler *Schiefer* auf den Dächern geben uns Proben davon ab. Alle diese verschiedenen Felsmassen heißen *Gesteine*. Bald sind sie *gleichartig*, wie der weiße zuckerkörnige Marmor, bald *gemischt*, wie der Granit. Hier zeigen sie Bänder und Schichten, wie der Sandstein (*geschichtete Gesteine*); dort sind sie aus regellos durcheinanderliegenden Körnchen zusammengesetzt (*Massengesteine*). Die Wissenschaft, die uns alle diese Gesteinsarten unterscheiden lehrt, heißt *Gesteinskunde* oder **Petrographie** (griech. *pétros* = Fels, *gráphein* = schreiben).

An einer granitnen Steinplatte können wir oft ziemlich große, weiße Tafeln (*Feldspat*), glänzend schwarze Blättchen (*Glimmer*) und graue, glasähnlich glitzernde Körnchen (*Quarz*) erkennen. Diese einzelnen Bestandteile heißen *Mineralien*. Auch das Salz, das wir essen, die *Edelsteine*, mit denen wir uns schmücken, die *Erze*, die der Bergmann aus der Tiefe des Schachtes (der „*Mine*“) bringt, sind Mineralien. Ihre Kenntnis vermittelt uns die **Mineralogie**. Da sich jedes Mineral am besten erkennen läßt aus seiner chemischen Zusammensetzung und aus seinen äußeren Formen, so bedarf die Mineralogie als Hilfswissenschaften der *Chemie* und der *Formenlehre*. Die scharf begrenzten Formen, in denen uns die Mineralien oft entgegentreten, sind *Kristalle*; diese besondere Formenlehre heißt deshalb **Kristallographie**.

Wie aber das bloße Beschreiben von Pflanzen und Tieren noch keine Botanik und Zoologie ausmacht, sondern erst die Kenntnis des Lebens, so gibt es auch eine Lehre vom Werden und Vergehen der Mineralien und Gesteine. Betrachten wir dann schließlich auch die großen Umbildungen unserer Erdkruste und fragen: Woher kommen Berge und Täler, Höhlen und Quellen, welche Kräfte haben das Antlitz der Erde gerunzelt?, so antwortet darauf eine neue Wissenschaft, die **dynamische Geologie** (griech. *dýnamis* = Kraft, *gḗ* = Erde, *lógos* = Lehre). Seit Jahrmillionen erfolgen diese Umbildungen, bald langsam und kaum merklich, bald plötzlich unter großen Umwälzungen oder *Katastrophen*. Wie nun der Geschichtsforscher die zahllosen

Kriege, die Taten der Menschen in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge studiert, so gibt es auch Gelehrte, die die großen Ereignisse in der Erdentwicklung in ihrer Zeitfolge zu erkennen suchen. Auch diese wahrhafte „Welt“-geschichte hat ihr Altertum, Mittelalter, ihre Neuzeit, ihre Reformations- und Revolutionsperioden. Es ist die **historische Geologie**, die uns in dieses Studium einführt. Wenn wir dabei die einzelnen Erd- und Felschichten nach Zeugen vergangener Tage durchmustern, so entdecken wir „versteinerte“ Muscheln, Knochen; in den Kohlen enthüllen sich uns ehemalige Baumstämme. Eine endlose Reihe von Tieren und Pflanzen, die heute völlig von der Erde verschwunden sind, tritt uns in solchen Resten entgegen, und wiederum eine besondere Wissenschaft, eine Zoologie und Botanik ausgestorbener Lebewesen, die **Paläontologie** (griech. palaiós = alt, ónta = die Lebewesen), lehrt sie uns benennen.

Wer es unternimmt, das Werden und Vergehen der Erdrinde zu studieren, darf nicht vergessen, daß die Erde uns nur zu einem ganz geringen Bruchteil zugänglich ist. Von der Erdoberfläche bis zum Mittelpunkte der Kugel ist eine Strecke von mehr als 6000 km. Könnten wir einen schnurgeraden Tunnel bis dahin bohren und eine Eisenbahn darin anlegen, so entspräche deren Länge etwa der Strecke Lissabon-Paris-Berlin-Moskau-Jekaterinburg, und ein Schnellzug würde rund hundert Stunden oder vier Tage fahren müssen. Der tiefste Schacht aber, den der Mensch je angelegt, reicht 1597 m¹⁾, das tiefste Bohrloch, in dem er die Eingeweide der Erde zu erkennen versucht hat, 2239,72 m²⁾ weit hinab. Wie ein äußerst feiner Stich mit einer Nadelspitze in die Schale eines Apfels erscheint jenes Bohrloch in der Erdrinde. Alles andere bleibt dem Menschenauge verschlossen; nur Vulkane und heiße Quellen bringen uns Kunde aus größeren Tiefen, und nur Vermutungen, gestützt auf Beobachtung, Berechnung und Experiment, können wir über deren Beschaffenheit aussprechen: *Theorien* (gr. theoria = Betrachtung) oder *Hypothesen* (gr. hypóthesis = vorausgesetzte Meinung) nehmen in der Geologie einen breiten Raum ein und mahnen uns zur Vorsicht und Bescheidenheit. Jedes Jahr bringt uns neue Fortschritte in Physik, Chemie usw.; immer feinere Forschungsmethoden werden gefunden, und so ist auch das Bild von dem Werden und Vergehen der Erdrinde, das wir heute zu bieten vermögen, steten Wandlungen unterworfen.

Aufgaben: Verschaffe dir Proben von Pflastersteinen, Straßenschotter, Marmor, Bildhauersandstein, Dachschiefer als Grundstock einer Gesteinsammlung, und suche die Herkunft der betr. Gesteine zu erfahren. Welche Steinbrüche der Umgebung liefern in der Hauptsache das Material für Grundmauern? Woher stammen eure Kohlen? Suche im Kohlenvorrat nach den gelbglänzenden Kristallen von „Katzengold“ (Schwefelkies)! Welche Mineralien liegen im Schaufenster des Juweliers, des Drechslers?

1) Bendigo, Australien.

2) Czuchow, Oberschlesien.

Aus dem Vorwort der ersten Auflage (1907).

Jede Reform des gegenwärtigen höheren Schulwesens wird sich das Ziel setzen müssen, den Schüler zu entlasten, ohne gleichzeitig eine Verflachung der Gesamtbildung eintreten zu lassen. Dieses Ziel läßt sich wohl erreichen, wenn wir schärfer als bisher — und zwar in allen Fächern — die Grenze ziehen zwischen speziellen Fach- oder Hochschulstudien und der Übermittlung einer für *alle* Abiturienten gleich nützlichen *Grundlage* wissenschaftlicher Erkenntnis. Prüfen wir von diesem Gesichtspunkte aus den Lehrstoff in der Naturgeschichte der unorganischen Welt, so ist es vor allem das einfache Beschreiben und Unterscheiden zahlreicher Mineralien und Gesteine, was zugunsten einer Vertiefung in die genetischen und dynamischen Probleme einer Beschränkung fähig und bedürftig ist.

Ein weiteres Mittel, den mineralogisch-geologischen Unterricht der Allgemeinbildung dienstbarer zu machen, ihn lebensvoller und tiefer anzulegen, ist die *gegenseitige Durchdringung der Einzeldisziplinen*, deren scharfe Trennung nur auf der Hochschule eine Berechtigung besitzt. Es mag für den Lehrer bequemer, übersichtlicher sein, den Lehrstoff in der altgewohnten systematischen Anordnung zu geben; didaktisch wertvoller ist entschieden das Ineinanderarbeiten der Sondergebiete. *Wie* das geschehen soll, darüber kann man verschiedener Meinung sein. Jeder pädagogisch wohlgedachte Lehrgang wird seine Vorzüge und Nachteile haben — keiner aber vermag die zahllosen Wechselwirkungen der Naturdinge und Naturkräfte so zu entwickeln, daß sie sich lückenlos an einem didaktischen Faden aufreihen lassen; die alte, systematische Anordnung erfüllt diese Forderung aber am allerwenigsten.

Die für das vorliegende Buch maßgebenden methodischen Gesichtspunkte sind in den an anderer Stelle veröffentlichten „Leitsätzen zur Reform des mineralogisch-geologischen Unterrichts“ (Zeitschr. f. d. math. u. nat. Unt. 38. Jahrg. 3. H.) ausführlicher begründet worden, und die Herren Fachgenossen erhalten einen Sonderdruck auf Wunsch kostenlos vom Verlage.

Vorwort zur sechsten Auflage.

Ein Jahrzehnt ist vergangen seit dem erstmaligen Erscheinen des Lehrbuchs, und 10 Auflagen der großen und kleinen Ausgabe haben unterdessen ihre Leser gefunden. Daraus darf der Verfasser wohl den Schluß ziehen, daß das Buch trotz mancher Abweichung vom Herkömmlichen sich im Schulunterrichte wie in den Händen von Laien bewährt hat. Immerhin glaubte er, dies erste bescheidene Jubiläum nicht besser betonen zu können, als durch eine möglichst gründliche Durcharbeitung des Textes unter weitgehender Berücksichtigung der zahlreichen Wünsche aus dem Leserkreise.

Viele dieser Wünsche liefen auf eine Stoffvermehrung hinaus. Nicht alle konnten erfüllt werden. Die Schule kann nicht scharf genug die Grenze zwischen allgemeiner Bildungsgrundlage und akademischer Systematik betonen, und vor allem der naturwissenschaftliche Unterricht sollte breiteste Anschaulichkeit zur Schärfung der Sinne allem Streben nach Vollständigkeit vorausgehen lassen. Wenn die nächste Zukunft uns eine durchgreifende Unterrichtsreform bringen soll, so muß sie ihre Aufgabe vor allem in einer scharfen Auslese des Lehrstoffes suchen.

Eine Anzahl von Mineralien ist mit Rücksicht auf die Chemie neu aufgenommen. Doch ist auf technische Vorgänge nicht in dem mehrfach gewünschten Umfang eingegangen worden. Ein Lehrplan, der der Mineralogie und Geologie eine Sonderbehandlung einräumt, gewährt sicher in erster Linie auch dem Chemieunterricht volle Entwicklungsfreiheit. Dann gehören aber Kapitel wie Eisenhüttenwesen, Glas- und Porzellanfabrikation besser in dessen Gedankengänge.

Völlig umgearbeitet ist die Kristallographie — nicht in der Richtung nach einer Vervollständigung der Formenreihe, sondern nach einer noch schulmäßigeren Vereinfachung und Vertiefung. Es wurden dabei manche Vorschläge angenommen, die *K. Schulz* in seinen verschiedenen Arbeiten (Aus der Natur u. a. a. O.) gemacht hat, z. B. stärkere Betonung des Symmetriebegriffs, vereinfachte Namengebung im rhombischen und monoklinen System, Verzicht auf die Naumannschen Symbole. Die von anderer Seite gewünschte Einführung der Millerschen Zeichen, ebenso die Abtrennung des trigonalen Systems scheint dagegen dem Verfasser unnötige Erschwerung zu bedeuten.

Um den Umfang des Buches nicht wesentlich zu vergrößern, wurde die chemische Einleitung über Luft und Wasser weggelassen, die bereits in der ersten Auflage als „ein durch ungeeignete Lehrpläne bedingter Notbehelf“ bezeichnet war. Aber es wurde stets darauf Rücksicht genommen, daß der chemische Unterricht meist nur gleichzeitig mit dem mineralisch-geologischen fortschreitet, daß also elementarste Behandlung alles Chemischen ratsam ist.

Für weitergehende Belehrungen, namentlich nach der theoretischen Seite hin, sei auf des Verfassers „Grundfragen der allgemeinen Geologie“ (Leipzig 1912, M 1,25) hingewiesen.

Allen freundlichen Ratgebern für ihre wertvolle Unterstützung herzlichen Dank!

Dresden, Januar 1917

Prof. Dr. Paul Wagner.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite		Seite
Einleitung	1	33. Ausscheidung von Kalk aus kalter Lösung	29
I. Die Entstehung von Sedimenten	3	34. Ausscheidung aus heißer Lösung	30
1. Künstliche Sedimentbildung	3	35. Ausscheidung auf lebenden Pflanzen	30
2. Flußablagerungen	3	36. Kalk als Baustoff der Tiere	31
3. Die Kiesgrube als geologischer Aufschluß	4	37. Kalksteinarten ohne erkennbare organische Reste	32
4. Ablagerungen in Binnenseen	6	38. Kristallisierter Kalkstein	32
5. Meeresablagerungen	7	39. Verwandte des Kalkspats	34
6. Äolische Sedimente	9	Quarz	35
7. Wüstenbildungen	10	40. Der Kieselstein und seine Härte	35
8. Vulkanische Tuffe	11	41. Chemie und Löslichkeit	36
Gletscherablagerungen	12	42. Ausscheidung von Quarz aus heißer Lösung	36
9. Entstehung der Gletscher	12	43. Ausscheidung aus kalter Lösung	37
10. Transportierende und ablagernde Tätigkeit der Gletscher	13	44. Kristallbildung	39
11. Gletscherablagerungen in Norddeutschland	14	45. Kieselsäure in den Organismen	40
II. Mechanische Sedimentgesteine	16	46. Übersicht der Quarzabarten	42
12. Entstehung und Kennzeichen	16	Phosphorit	44
13. Konglomerate und Breccien	16	47. Phosphorit	44
14. Quadersandstein, eine Meeresbildung	17	IV. Organogene Sedimente im engeren Sinne	45
15. Grauwacke, eine Fluß- und Küstenbildung	18	48. Chemische Vorgänge	45
16. Buntsandstein, eine Küsten- und Wüstenbildung	19	49. Faulschlammgesteine	46
17. Ton, Tonschiefer	20	50. Torf	47
III. Chemische Sedimente	20	51. Braunkohle	50
Steinsalz	20	52. Steinkohle	50
18. Chemische Zusammensetzung des Kochsalzes	20	53. Bildung der Steinkohlen	51
19. Löslichkeit	21	54. Anthrazit	52
20. Kristallform des Kochsalzes	21	55. Graphit	53
21. Spaltbarkeit	21	V. Lagerungsformen der Sedimentgesteine	54
22. Härte	22	56. Ursprüngliche Lagerung	54
23. Vorkommen des Kochsalzes	22	57. Gestörte Lagerung	55
Anhydrit und Gips	23	58. Verwerfungen	55
24. Chemische Zusammensetzung	23	59. Hebungen und Senkungen der Kontinente	57
25. Löslichkeit	23	60. Faltungen	58
26. Kristallformen	24	Folgen der Schichtstörungen	61
27. Abarten	24	61. Pressungs- und Zerreißungsklüfte	61
28. Das Meer eine Salzlösung	24	62. Grundwasserverhältnisse und Quellen	61
29. Gewinnung des Meersalzes	26	63. Erdbeben	63
30. Entstehung der Steinsalzlager	26	VI. Die gesteinbildenden Silikate	66
31. Salpeter	28	64. Herkunft der Sedimente, Verbreitung der Kieselsäure	66
Kohlensaurer Kalk	29		
32. Chemische und Lösungsverhältnisse	29		

	Seite		Seite
65. Einfache wasserfreie Silikate	67	IX. Herkunft der Massengesteine	98
66. Wasserhaltige Silikate	67	Vulkanismus	98
Zusammengesetzte gesteinbildende Silikate	68	96. Der Vesuv als Typus eines Vulkans	98
67. Feldspat	68	97. Tätigkeit des Vesuvs	100
68. Verwandte des Feldspates	70	98. Die phlegäischen Felder	101
69. Glimmer	71	99. Andere europäische Vulkangebiete	104
70. Hornblende und Angit	72	100. Außereuropäische Vulkangebiete	105
VII. Die Massengesteine	74	101. Anordnung und äußere Form der Vulkanberge	106
Der Granit als Typus eines Massengesteins	74	102. Entstehung und innerer Bau der vulkanischen Massen	107
71. Gemengteile	74	103. Entstehung vulkanischer Gesteine aus den Schmelzmassen. Struktur der Eruptivgesteine	108
72. Gefüge (Struktur)	74	104. Einwirkung des Magmas auf das Nebengestein	111
73. Mikroskopische Untersuchung der Gesteine	75	105. Mineralbildungen an Vulkankratern. Schwefel	112
74. Absonderung	76	106. Nachwirkungen der Eruptionen. Dämpfe, heiße Quellen, Mineralneubildungen	113
75. Abarten des Granits	77	X. Edelsteine und Erze	116
Anderkörnige Massengesteine	78	Diamant	116
76. Syenit	78	107. Chemische und physikalische Eigenschaften	116
77. Diorit	78	108. Natürliche und künstliche Formen	116
78. Diabas	79	109. Vorkommen und Gewinnung	117
79. Gabbro	79	110. Entstehung	118
Massengesteine mit Porphyristruktur	79	111. Andere Edelsteine. Korund, Smaragd, Granat, Spinell, Zirkon, Türkis	118
80. Porphyr, Porphyrit	79	Gold	120
81. Basalt, Melaphyr	81	112. Eigenschaften	120
82. Trachyt	81	113. Art des Vorkommens	120
83. Phonolith	83	114. Fundorte	121
84. Zusammenstellung der wichtigsten Massengesteine nach Struktur und Hauptgemengteilen	84	115. Art der Gewinnung	122
85. Andere Einteilungen der Massengesteine	85	Silber	122
86. Verwandtschaft der Massengesteine	85	116. Silbererze	122
VIII. Zerstörung der Gesteine	86	117. Silberhaltige Erze (Bleiglanz, Zinkblende)	123
Verwitterung	86	118. Silbererzlagertstätten. Gangarten (Schwerspat)	123
87. Atmosphärien	86	119. Art der Gewinnung	124
88. Mechanische Verwitterung	86	Kupfer	125
89. Chemische Verwitterung	88	120. Kupfererze	125
90. Organische Verwitterung	90	121. Art des Vorkommens	127
Verwitterung und Landschaftscharakter	91	Zinn	128
91. Felsformen	91	122. Eigenschaften und Fundorte. Zinnstein	128
92. Allgemeine Geländeformen (Denudation)	92		
93. Talformen (Erosion)	93		
94. Talformen in vergletscherten Gebieten	96		
95. Endziel der Verwitterung und Wasserwirkung	97		

	Seite		Seite
123. Art des Vorkommens	128	148. Der fossile Mensch	176
124. Entstehung	129	149. Hauptsätze der Abstammungs- lehre	179
Eisen	130	Grundzüge der allgem. Mineralogie	182
125. Gediogenes Eisen	130	Erkennung und Einteilung der Mineralien	182
126. Eisenerzlager	130	I. Kristallformen	182
127. Die wichtigsten Eisenerze	131	150. Wesen der Kristalle	182
128. Übersicht der übrigen be- sonders wichtigen Erze	134	151. Begrenzungselemente	183
XI. Sitz der vulkanischen Kräfte	136	152. Symmetrie der Kristallformen	184
129. Aufbau der Erdkugel	136	153. Lage der Kristallflächen	185
130. Beweise für die Hitze im Erd- innern	136	154. Abgeleitete Kristallformen	187
131. Aggregatzustand der Erde	137	155. Die sechs Achsenkreuze	188
132. Entstehung der Erde	138	Die 6 Kristallsysteme	189
XII. Historische Geologie	139	156. Rhombisches System	189
133. Grundlagen der Erdgeschichte	139	157. Halbfächner	192
134. Tabelle zur historischen Geo- logie	142	158. Quadratisches System	193
Archaisches Zeitalter	141	159. Monoklines System	194
135. Urmeer. Ursedimente	141	160. Triklines System	196
136. Kristallinische Schiefer und ihre Entstehung	141	161. Reguläres System	196
137. Alter der kristallinischen Schiefer	143	162. Halbfächner	198
Paläozoisches Zeitalter	144	163. Hexagonales System	201
138. Kambrium (Präkambrium)	144	164. Rhomboedrische Symmetrie	202
139. Silur	147	165. Das Zeichnenvon Kristallfiguren	204
140. Devon	150	II. Physikalische Eigenschaften	206
141. Karbon	151	166. Spaltbarkeit	206
142. Dyas (Perm)	155	167. Härte	206
Mesozoisches Zeitalter	158	168. Ätzfiguren	207
143. Trias	158	169. Dichte	208
144. Jura	161	III. Chemische Eigenschaften	209
145. Kreide	167	IV. Anordnung der Mineralien nach ihrer chemischen Be- schaffenheit	211
Känozoisches Zeitalter	168	V. Werke zum selbständigen Weiterstudium	213
146. Tertiär	168	Sachregister	216
147. Quartär	170		

Tafelverzeichnis.

Tafel I: Gesteinbildende Mineralien	Zwischen Seite	40/41
„ II: Edelsteine und Erze	„	120/121
„ III: Erze	„	128/129
„ IV: Beschaltete Kopffüßer	„	144/145

Quellennachweise für die Illustrationen.

1. *Klischees* aus anderen Werken des Verfassers und Verlegers:

Wagner, Illustrierter Führer durch das Museum für Länderkunde zu Leipzig. Abb. 111—122, 153, 154.
 Frech, Aus der Vorzeit der Erde. (A. Nat. u. Geistesw. 61.) Abb. 110.
 Geographische Zeitschr. Abb. 15, 20, 38, 90, 98.

Zeitschrift „Natur und Schule“. Abb. 229.
 Kraepelin, Leitfaden für den biologischen Unterricht. 1907. Abb. 227, 232, 235 A.
 Stromer v. Reichenbach, Lehrbuch der Paläozoologie. 1909. Abb. 156—158, 174, 202, 204, 209.

2. *Kopien* nach Werken fremder Verfasser oder Verleger:

Barrande, Système silurien du Centre de la Bohême. 1852. Abb. 161, 167.
 Credner, Elemente der Geologie. Abb. 92, 218, 219.
 —, Die Stegocephalen und Saurier aus dem Rotliegenden des Plauenschen Grundes. Abb. 196.
 —, Das sächsische Schüttergebiet des sudetischen Erdbebens vom 10. Jan. 1901. Abb. 76.
 Dalmer, Die westergbergische Granitmassivzone. Ztschr. f. pr. Geologie. 1900. Abb. 125.
 Davidson, A Monograph of the British fossil Brachiopoda. Abb. 166, 182.
 Eckert, Das Gottesackerplateau ein Karrenfeld im Allgäu. (Wiss. Erg.-H. d. Deutsch. u. Österr. Alpenver. 1. Bd., 3. H.) Abb. 97.
 Engelhardt, Die Crednerien im unteren Quader Sachsens. Festschr. d. Isis. 1885. Abb. 215.
 Everding, Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze 1907. Abb. 28.
 Festschrift z. Erinnerung an die Eröffn. d. Museums der Senckenb. Nat. Ges. 1907. Abb. 208.
 E. Fraas, Führer durch das Kgl. Naturalienkabinett zu Stuttgart. Abb. 203.
 Geinitz, Die Versteinerungen der Steinkohlenformation in Sachsen. 1855. Abb. 171, 188—191.
 —, Das Elbtalgebirge in Sachsen. 1875. Abb. 216.
 Girod, Les invasions paléolithiques dans l'Europe occidentale. 1900. Abb. 228, 230.
 Gürich, Das Mineralreich. Abb. 133.
 A. Heim, Zur Kenntnis der Glarner Überfallungsdecken. Mon.-Ber. dtsh. geol. Ges. 1905. Abb. 69, 70.
 Hochstetter-Toula, Lehrbuch der Mineralogie. Abb. 79, 237.
 Jaekel, Bilder von der letzten Eruption des Vesuvs. Nat. Woch.-Schr. 1906. Abb. 107.
 —, Neue Rekonstruktion eines Trilobiten. Jb. d. pr. geol. Landesanst. 1904. Abb. 162.

Jaekel, Über die Agnostiden. Ztschr. d. d. geol. Ges. 1909. Abb. 164.
 Kästner, Zur Genesis des sächs. Granulitgebirges. Zentralbl. f. Min., Geol., Pal. 1904. Abb. 88.
 Keilhack, Die Endmoränen u. Urstromtäler Norddeutschlands. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. 1909, I. Abb. 226.
 Lethaea palaeozoica. Verl. E. Schweizerbarth, Stuttgart. Abb. 172, 187, 192.
 Philippi, Die Ceratiten des oberen deutschen Muschelkalks. 1901. Abb. 201.
 Potonié, Lehrbuch der Pflanzenpaläontologie. 1899. Abb. 46.
 Rauff, Palaeospongiologie (Palaeontographica 1893). Abb. 168.
 Reinisch, Petrographisches Praktikum. 1904. Abb. 18.
 v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende. Abb. 2, 5.
 Sandberger, Die Land- und Süßwasserconchylien d. Vorwelt. Abb. 11.
 Schoetensack, Der Unterkiefer des Homo Heidelbergensis aus den Sanden von Mauer bei Heidelberg. Leipzig, Engelmann, 1903. Abb. 235 B. [181].
 Toula, Lehrbuch der Geologie. Abb. 178, 179.
 Ule, Grundzüge der allgemeinen Erdkunde. Abb. 1, 72, 102.
 Verhandl. d. Ges. deutsch. Nat. u. Ärzte. 1908. Abb. 78, 79.
 Waltherr, Geologische Heimatkunde von Thüringen. 1902. Abb. 194.
 Wanderer, Tierversteinerungen aus der Kreide Sachsens. 1909. Abb. 210, 211, 217.
 Weinschenk, Grundzüge der Gesteinskunde. 1905. Abb. 27, 96, 123.
 Zirkel, Elemente der Mineralogie. Abb. 134.
 Zittel, Handbuch der Paläontologie. Abb. 165, 170, 173, 220.
 —, Die Bivalven der Gosaugebilde in den nordöstl. Alpen. 1864. Abb. 213.

I. Die Entstehung von Sedimenten.

1. Künstliche Sedimentbildung. Wir schütten in einen halb mit Wasser gefüllten Standzylinder ein Gemenge von Kies, Scheuersand, Gartenerde, gepulverter Schlammkreide, Kochsalz und Chlorbaryum, schütteln das Ganze gut durcheinander und stellen dann den Zylinder ruhig hin. Sofort fallen die gröberen Beimengungen, nach ihrer Größe und Schwere geordnet, zu Boden und bilden deutlich unterschiedene Schichten. Nur die feinen Schlamm- und Kreideteilchen bleiben noch stundenlang im Wasser *schwebend* oder *suspendiert* (lat. suspendere = aufhängen), ehe sie sich zu oberst absetzen und eine völlig klare Flüssigkeit übrigbleibt. Wir haben nun auf dem Grunde des Gefäßes einen Bodensatz, eine *geschichtete Ablagerung*, entstanden durch die einfache Wirkung der *Schwerkraft*, und nennen diese Ablagerung ein mechanisches Sediment (lat. sedere = sitzen).

Aber das klare Wasser verrät schon durch den Geschmack, daß es noch immer die beiden Salze enthält, nicht als schwebende Körper, sondern *aufgelöst*. Um sie ebenfalls zum Absatz zu bringen, wenden wir zwei Mittel an. Einen Teil des Wassers schöpfen wir in ein Probierglas und verdampfen es; da die Salze sich nicht mit verflüchtigen, bleiben sie als weißer Beschlag im Glase zurück. (Derselbe Erfolg wird erzielt, wenn die Lösung in einem flachen Gefäß an der Luft langsam verdunstet.) Das übrige Wasser versetzen wir mit einigen Tropfen Schwefelsäure und erhalten dadurch einen weißen, wolkigen Niederschlag: Das leicht lösliche Chlorbaryum ist in unlösliches schwefelsaures Baryum (Schwerspat) umgewandelt und ausgeschieden worden. In beiden Fällen hatten wir es mit (physikalisch-) *chemischen* Vorgängen zu tun und nennen deshalb die gewonnenen Ausscheidungen chemische Sedimente.

2. Flußablagerungen. Was der Versuch im kleinen zeigte, lehrt uns die Natur an jedem Flußlaufe im großen. Jedes fließende Gewässer schleppt Schuttmassen mit sich fort, teils gelöst oder suspendiert („*Flußtrübe*“), teils indem sich Steine auf dem Boden vorwärts bewegen und dabei durch fortwährendes Bestoßen zu *Geröllen* abrunden oder zu *Sand* zerreiben. Die feinsten Sandkörnchen entgehen der Abrundung — ein wichtiges Kennzeichen für vom Wasser bearbeitete Sandmassen. Die *Menge* der transportierten Trümmersmassen ist *abhängig vom Gefälle und der Wassermenge*. Gebirgsbäche wälzen zentnerschwere Blöcke vorwärts; in Tieflandflüssen kann man nur ein leichtes Rieseln der Sandkörnchen wahrnehmen. In der Mitte des Flusses, im „*Stromstrich*“ (Abb. 1), ist die Kraft größer als gegen das Ufer

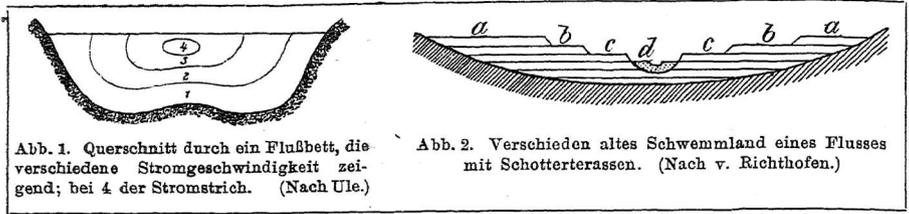


Abb. 1. Querschnitt durch ein Flußbett, die verschiedene Stromgeschwindigkeit zeigend; bei 4 der Stromstrich. (Nach Ule.)

Abb. 2. Verschieden altes Schwemmland eines Flusses mit Schotterterrassen. (Nach v. Richthofen.)

hin. Welche gewaltigen Schuttmassen unsere großen Ströme befördern, zeigt folgendes Beispiel: Die Elbe enthält im Böhmischem Mittelgebirge in einem cbm Wasser 91 g gelöste und 104 g suspendierte Stoffe; der Jahrestransport wird aus diesen Zahlen auf 1170 Millionen kg berechnet.

Erlahmt irgendwo die Transportkraft, so setzt der Fluß den Schutt auf dem Grunde ab und erhöht dadurch sein eigenes Bett. So wurden bei Brun-
eck im Pustertal an einem einzigen Septembertage 1882 nicht weniger als 700 000 cbm Schlamm abgelagert. Aus dem sächsischen Elblaufe müssen jährlich 32530 cbm Sand und Kies und 1630 cbm große Steine gebaggert werden, um die den Schiffen nötige Fahrtiefe zu erhalten. Es bilden sich eine *Steinsohle* in der Mitte, *Kies- und Sandbänke* (Heger) an ruhigeren Stellen, *Geröllstreifen* am Ufer, *Schlammabsätze* auf benachbarten Wiesen bei Hochwasser. Wir erhalten also eine Sonderung nach der Größe nicht übereinander, sondern zunächst nur neben- oder hintereinander. Da der Fluß seinen Lauf ändert oder die Strömung während der Jahreszeiten wechselt, so können an ein und derselben Stelle Geröll- und Schuttmassen verschiedener Größe zur Ablagerung kommen. Durch die zahlreichen Laufänderungen bildet sich nach Jahrtausenden neben jedem Fluß eine breite Flußaua, bedeckt mit „*Schwemmland*“. Und wenn der Fluß sein Bett allmählich tiefer legt, so sehen wir oft als ältestes Schwemmland längs der Talgehänge eine etwas erhöhte „*Schotterterrasse*“ (Abb. 2).

3. Die Kiesgrube als geologischer Aufschluß. Einen Einblick in die Ablagerungsverhältnisse des älteren Schwemmlandes gewährt uns eine Kies- oder Sandgrube. Sie bildet einen senkrechten Durchschnitt, einen „*künstlichen Aufschluß*“ in den alten Flußablagerungen. Eine Zeichnung dieses Durchschnittes, die die einzelnen Schichten im verjüngten Maßstabe wiedergibt, ist ein „*geologisches Profil*“ (Abb. 3). Wir finden lose übereinanderliegende, gerundete Steine verschiedener Größe, feineren Sand und schmierige tonige Massen. Diese bilden ungefähr wagerechte, nahezu parallele Schichten von verschiedener Dicke oder „*Mächtigkeit*“. Hier und da wird eine Schicht nach einer Richtung immer dünner und läuft schließlich in einem spitzen Winkel aus; sie „*keilt sich aus*“. Wenn die Schichtung plötzlich absetzt und ohne Übergang eine andere Richtung annimmt, so nennt man dies *Kreuzschichtung* (Abb. 4). Die ganze Lagerungsweise spricht für Absatz aus fließendem Wasser. Die *Größe der Gerölle* belehrt uns über die Schnelligkeit der Wasserströmung



während der einzelnen Ablagerungsperioden. Grobe Schichten deuten auf größeres Gefäll oder Hochwasser, Tonmassen auf niedrigen Wasserstand oder Absatz in einer Seitenbucht, einem „toten Flußarm“. Auch die *Form* ist lehrreich: Gut gerundete Stücke haben eine weite Reise hinter sich; eckige oder schwach gerundete stammen aus größerer Nähe; flache Scheiben entstehen oft aus Schiefergesteinen. Sammeln wir aus einem abgeseihten Haufen größere Gerölle und gruppieren sie nach ihrer *Art*, so wiegen weiße Kieselsteine (*Quarze*) bei weitem vor; aber auch schwarzer Basalt, scheckiger Granit, grün-

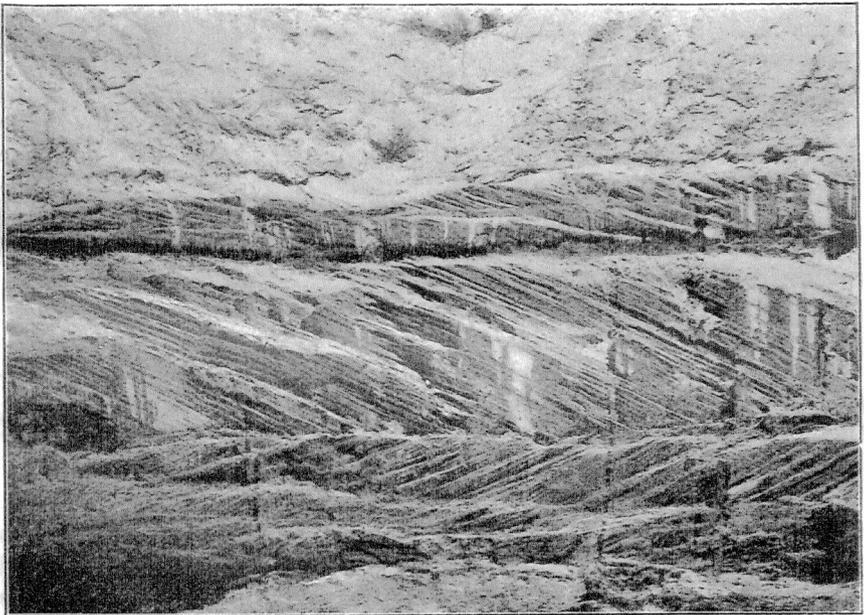


Abb. 4. Alter kiesiger Sand, von fließendem Wasser geschichtet (Kreuzschichtung), darüber ungeschichteter Geschiebelehm, von nordischem Eise abgelagert. Westküste von Sylt.

liche Schieferscheibchen sind leicht zu erkennen. Sind uns die Gesteine im Gebiete des oberen Flußlaufes erst besser bekannt, so können wir aus der Art der Gerölle die Herkunft jenes alten Flußlaufes feststellen. Auch eingeschwemmte organische Reste (Treibholz, Knochen) oder Kunstprodukte (Steinbeile der ältesten Bewohner) sind in der Kiesgrube bisweilen zu finden.

Manchmal kleben die Gerölle so fest aneinander, daß sie mit der Hacke gelöst werden müssen. Die Ursache ist das Vorhandensein eines *Bindemittels* oder *Zementes*, der meist aus Ton (Schlamm), braunem Eisenrost, seltener aus Kalk besteht.

Aufgaben: Hast du einen kleinen Fluß an deinem Wohnorte, so bestimme die verschiedene Stromgeschwindigkeit, indem du von der Brücke aus rasch einen Querstreifen aus Sägespänen aufstreust. Sammle verschiedene Arten von Flußgeröllen, und bringe sie zur Bestimmung mit zur Schule. Durch welche Eigenschaft hebt sich der Schwemmlandstreifen gewöhnlich von dem übrigen Gelände ab? Sind in deiner Umgebung Schotterterrassen vorhanden? Zeichne ein „topographisches oder Geländeprofil“ (gr. *tópos* = Gegend, Ort) quer durch das Flußtal samt Abhängen. Wodurch unterscheidet sich ein topographisches Profil von einem geologischen? Welche Gelegenheiten sind innerhalb einer Stadt gegeben, um in „künstlichen Aufschlüssen“ die Zusammensetzung des Bodens kennen zu lernen? Übe dich in der Kiesgrube zunächst, die Mächtigkeit der einzelnen Schichten zu messen (Bandmaß, Schmiege, Spazierstock), und übertrage die Zahlen in einen verjüngten Maßstab. Zeichne ein Profil nach obigem Muster, wende dabei in ähnlicher Weise verschiedene „Signaturen“ (lat. *signum* = Zeichen) an, und ergänze das Profil durch handschriftliche Zusätze. Woher rührt die grünliche Farbe, die oft die tonigen Lagen oberflächlich bedeckt?

4. **Ablagerungen in Binnenseen.** Wo irgendein Bach in einen Teich oder ein künstliches Staubecken fließt, können wir studieren, was an den Mündungen der Flüsse in die Alpenseen (Bodensee, Genfer See u. a.) geschieht. Das Wasser verliert mit einem Male nahezu alle Tragkraft; der mitgebrachte Schutt wird unmittelbar an der Mündung *ohne weitere Sonderung* abgelagert, und nur weil der Fluß im Laufe des Jahres seine Geschiefbeführung oft wechselt, können wir auch hier *steil* (30—35°) *abfallende Schichten* unterscheiden. Diese beginnen oben unmittelbar unter dem Seespiegel und werden durch eine waghrechte Schuttablagerung überdeckt, auf der der Fluß in vielen Armen seinen Weg bahnt. Auf der Landkarte erscheint das von den verschiedenen Mündungsarmen eingeschlossene Anschwemmungsgebiet meist dreieckig begrenzt. Man vergleicht es deshalb mit dem griechischen Buchstaben Δ (= Delta) und nennt es ein *Delta* (Abb. 5).

Welche Massen an den Mündungen der Alpenflüsse in die Gebirgsseen sich absetzen, davon ein Beispiel: Die Reuß lagert jährlich im Vierwaldstätter See ungefähr 150000—200000 cbm Schotter ab. Die Folge ist eine allmähliche Zufüllung solcher Seen; weite Schwemmlandebenen treten an ihre Stelle.

Aufgaben: Suche in deiner Umgebung eine kleine Deltabildung und zeichne

die Flußteilung. Beobachte ähnliche Bildungen nach starken Regengüssen auf der ungepflasterten Straße, etwa vor einem verstopften Schleusenloch. Stelle auf der Landkarte nach der Geländedarstellung fest, wie

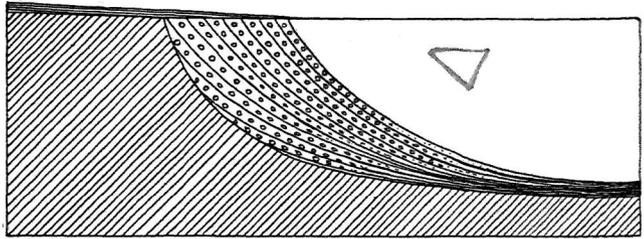


Abb. 5. Längsprofil durch die Schottererschichten an der Mündung eines Flusses in einem Binnensee: „Deltastruktur“. (Nach v. Richthofen.)

weit aufwärts früher der Bodensee, Urner See, Genfer See gereicht haben. Sind in deiner Umgebung Schutthalden von Bergwerken, Steinbrüchen, so stelle die Ähnlichkeit der Ablagerungen mit einem Delta fest. Miß den Neigungswinkel der Halde mit dem *Winkelmesser* (Transporteur). (Man hält das Lineal desselben nach oben und stellt es schräg, parallel zu dem betr. Abhang. Ein einfaches Pendel aus Zwirn wird so um das Lineal geschlungen, daß es vom Mittelpunkte des Gradkreises aus frei schwingt. Die Richtung des Fadens zeigt die Gradzahl an.)

✓ 5. Meeresablagerungen. Ein großer Teil der feineren Trümmernmassen wandert schließlich mit den Flüssen ins Meer. Die Elbe schleppt z. B. in 6000 Jahren so viel feste Bestandteile in die Nordsee, als in einem Jahre ihre Wassermasse beträgt. An den Flußmündungen erfolgt die Ablagerung in ähnlicher Weise wie in den Binnenseen. Nur sind zwei Unterschiede zu beachten: 1. zwingt der Salzgehalt des Meerwassers die Flußtrübe zu viel rascherem Absatz (etwa 15mal so schnell) als im Süßwasser¹⁾; 2. hindern zu große Meerestiefe, Strömungen oder Gezeiten hier und da die Bildung von Deltas. So entstehen manchmal ausgeräumte *Trichtertermündungen* (Elbe), in anderen Fällen riesige, weit *hinausgebaute Deltas* (Po, Ebro, Nil, Mississippi, Lena). Am Podelta, das sich jährlich um 70 m weiter ins Meer vorschiebt, wurde durch Bohrung eine *Mächtigkeit* der Schuttablagerungen von 215 m festgestellt. Die *Flächenausdehnung* des Nildeltas ist anderthalbmal so groß wie das Königreich Sachsen; etwa 300 cbkm Schlamm setzen dasselbe zusammen, und alljährlich wächst es um 60 Mill. cbm. Das Delta des Mississippi umfaßt eine Fläche von 36000 qkm und besitzt eine Mächtigkeit von 200 m.

Auch wo kein Fluß mündet, wird die Meeresküste von einem Streifen eigentümlicher Geröllmassen begleitet. Sie stammen von der Küste selbst, wo die *Brandungswelle* gleich einem Geschoß wirkt, die *Rückströmung* die Trümmer mitnimmt und nach der Größe sondert. An der französischen Nordküste werden jährlich $5\frac{1}{2}$ Millionen cbm Gestein zerstört; das entspricht dem Verlust eines 10 m hohen und 1,6 m breiten Landstreifens. Die samländische Küste bröckelt jährlich 1,8 m weit ab. Je nach der Ufergestaltung wechselt auch die Beschaffenheit des Sedimentstreifens: *Blockstrand* (Helgo-

1) Die einzelnen Körnchen umgeben sich mit einer feinen Schicht konzentrierter Salzlösung.

↑ präzisionsbauern
↑ moderne brennen



Abb. 6. Blockstrand und Steilküste von Helgoland.

land, Stubbenkammer) (Abb. 6), *Sandstrand* (der größte Teil der Ostseeküste), *Schlamm oder Schlickstrand* (Wattenmeer). Wo die Wellen mit dem Sandespielen, wird er durch den Rückstrom zu ziemlich festen Rippen zusammengeschoben, die unter sich etwa parallel und senkrecht zur Wellenrichtung laufen (*Wellenfurchen*). Die Teile des Sandstrandes, die nicht dauernd überflutet, aber noch durchfeuchtet sind, zeigen oft Abdrücke von Füßen oder *nach Regen kleine Gruben* als Spuren der aufschlagenden Tropfen.¹⁾ Wo der Sand toniger wird, entstehen auf der Oberfläche während der Ebbe und bei größerer Lufttrockenheit *Risse* durch rasches Eintrocknen und Zusammenziehen.

Alle bisher betrachteten Sedimente waren Uferbildungen. Der *Tiefseeschlamm* weit draußen im offenen Ozean ist anderer Herkunft: er enthält kleine Gehäuse von Urtierchen (Abb. 7), feine Staubteile, die der Wind vom Festlande, zum Teil von Vulkanen, zugeführt hat, und stellt meist eine rötliche, tonige Masse dar. Auch schwimmende Eisberge liefern beim Abschmelzen reichliche Mengen von Sedimenten. In der Labradorströmung hat man z. B. die verfrachteten und versenkten Gesteinsmassen auf 1% des Volums der Eisberge berechnet.

Aufgaben: Fülle zwei Gläser mit Schmutzwasser, füge dem Wasser des einen Glases etwas Kochsalz zu und stelle die Zeit bis zur völligen Klärung des Wassers

1) Platztende Gasblasen erzeugen nach jedem Ablaufen der Brändungswelle ähnliche Grübchen.

fest. (Noch besser eignen sich Chlormagnesium und Bittersalz zum Befördern der Klärung.) Wie Wasserströmungen Wellenfurchen erzeugen, beobachte an einem Bache, der über Sand fließt. Beachte dabei die verschiedene Steilheit der beiden Abhänge an den Wellenfurchen, die verschiedene Farbe der Sandkörner an beiden Seiten und suche nach einer Erklärung dafür. Stelle dir aus befeuchtem Scheuersand eine ebene Fläche her und rufe darauf Tropfeneindrücke hervor. Fülle einen Suppenteller mit Tonschlamm und verfolge die Entstehung von Trockenrissen. Noch tiefere Zerteilung erhältst du aus im Wasser zerquirter Reisstärke. Beobachte Trockenrisse auf eingetrockneten Pfützen in tonigem oder lehmigem Boden.

6. Äolische Sedimente. Ein Teil der von der Brandung angeschwemmten Körper bleibt am Saume der Spritzwelle liegen und bildet dort einen mehrere Meter breiten *Strandwall*.

Jenseit dieser sehr veränderlichen Grenzlinie beginnt der Wirkungsbereich des *Windes*. Das schwerste Material bleibt liegen; grobe Körner rollen, kleinere hüpfen von Luftwirbeln gehoben; Staub erhebt sich hoch und wird viele Kilometer weit fortgetragen. Durch wellenförmige Bewegungen des Windes entstehen zierliche parallele Hügelreihen, ähnlich den *Wellenfurchen* (5), aber weniger scharfkantig (Abb. 9). Die fortgesetzte gegenseitige Reibung *rundet* auch die kleinsten Körnchen, die im Wasser noch eckig geblieben sind. Liegen größere Steine dazwischen, so werden sie von dem „Sandgebläse“ mit Ausnahme der dem Winde entzogenen Grundfläche völlig glatt geschliffen. Dabei erhalten die Gerölle oft eine merkwürdige Form: durch die wechselnde Richtung der kleinen, am Boden hinkriechenden Luftströmungen werden mehrere Flächen gebildet, die sich in Kanten treffen. Solche windgeschliffene Steine heißen *Kantengerölle*, *Dreikanter*, *Fünfkanter* (Abb. 8) (147.)

Weiter landeinwärts türmen sich die Sandkörner zu Hügelketten, den *Dünen*, auf (keltisch *dun* = steiler Hügel), die die Küste oft Hunderte von Kilometern weit begleiten (Kurische Nehrung 98 km, Südwestfrankreich 240 km). Dieselben zeigen eine sanft (5°) ansteigende Außenseite (Wind oder Luvseite, rechts in Abb. 9) und einen steileren (30°), landeinwärts gerichteten Abfall, die Lee-seite. Die Sandkörner sind parallel diesen beiden Hängen geschichtet, weil die wechselnde Stoßkraft des Windes Körner ver-

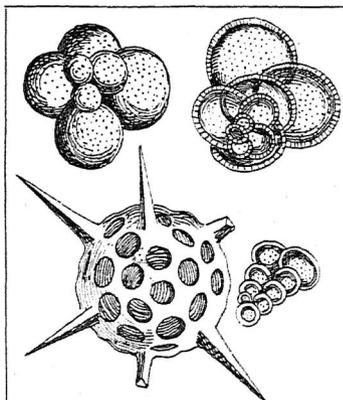


Abb. 7. Urtiergehäuse aus dem Tiefseeschlamm bei 600facher Vergrößerung. Oben Globigerina, unten rechts Textularia, beides Foraminiferengehäuse aus Kalk; unten links ein Radiolariengerüst aus Kiesel. (Nach Zittel.)

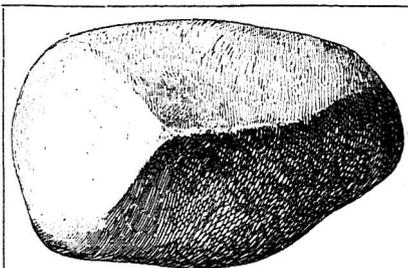


Abb. 8. Dreikanter aus der Gegend von Dresden. (Orig. d. Verf.)

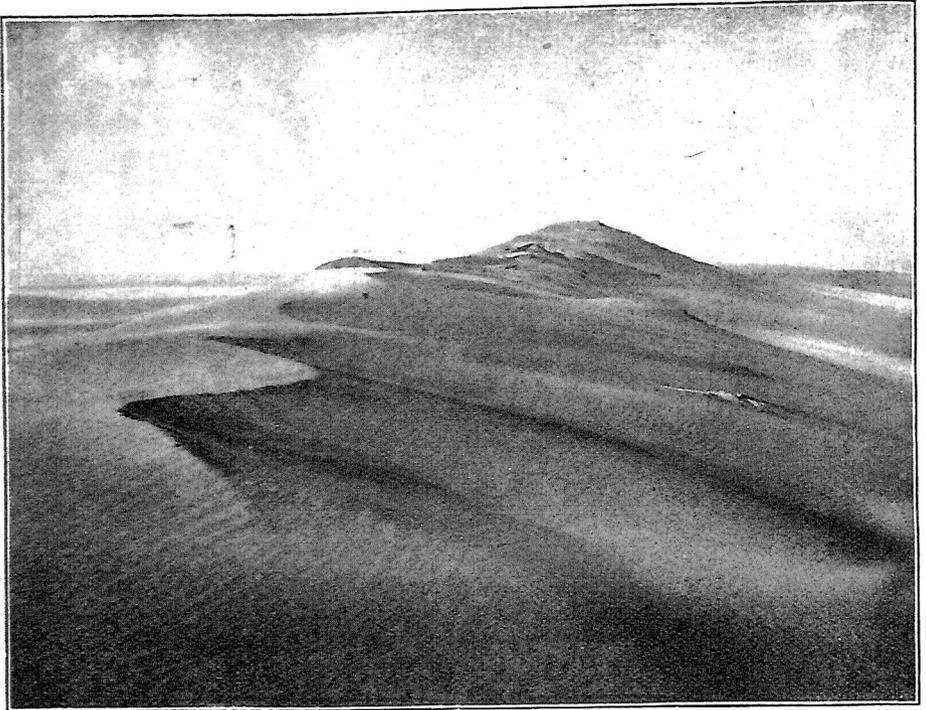


Abb. 9. Wanderdüne von der Kurischen Nehrung. (Phot. v. Gottheil u. Sohn. Königsberg.)

schiedener Größe abgelagert. Wenn dann die Düne „wandert“, d. h. wenn der Sand vom Außenhang über die scharfe Kante geblasen und im „Windschatten“ wieder abgelagert wird, entsteht eine eigentümliche Kreuzschichtung. Die großartigsten Dünenlandschaften Deutschlands tragen die „Nehrungen“, auf denen Höhen von 62,5 m (Kurische Nehrung) und 52 m (Frische Nehrung) erreicht werden. Die höchsten Dünen im deutschen Nordseegebiete besitzt die Insel Sylt (48 m).

Nicht nur die Meeresküste zeigt Dünen; auch in den pflanzenleeren Wüsten und Steppen spielen sie eine große Rolle und treten oft in der einfachen Form als „Sicheldüne“ oder „Bogendüne“ auf (Abb. 10); z. B. russische Steppen, Transkaspien, Turkestan, Sahara (150—500? m).

In den Sandgegenden Nord- und Mitteldeutschlands (z. B. Dresdner Heide, Nordlausitz, Mark Brandenburg) finden wir ebenfalls zahlreiche Dünenketten, die allerdings meist im Kiefernwalde versteckt und durch die Pflanzendecke am weiteren Wandern verhindert sind. Solche Gegenden (sogeannter *Decksand*) bieten reiche Ausbeute an Dreikantern.

7. Jene großen Binnenländer, in denen der Regen selten, der Wind aber überaus häufig ist, bilden den Hauptschauplatz für die Tätigkeit des letzteren. Gewaltige Stürme heben die oberste Bodendecke in die Luft, bis die

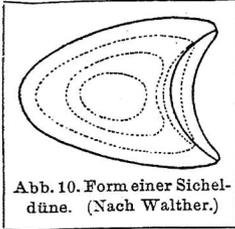


Abb. 10. Form einer Sichel-düne. (Nach Walther.)

gelben Wolken die Sonne völlig verschleiern. Und dabei zeigt sich, daß der Wind die Schuttmassen noch viel gründlicher nach Größe und Schwere zu sondern vermag als das Wasser. Der grobe Kies bleibt allein zurück



Abb. 11. Schneckenhäuser aus dem norddeutschen Löß: *Papa muscorum*, *Helix hispida*, *Succinea oblonga*. (Nach Sandberger.)

(*Kieswüste*, z. B. Gobi), der Sand fällt in einiger Entfernung nieder (*Sandwüste*). Der feinste mehlartige Staub aber wird Hunderte von Kilometern weit getragen, bis er endlich — vor allem in grasbedeckten Steppenlandschaften — von der Vegetation festgehalten wird. Dieser feinste Staub zeigt, weil er nicht verschiedene Korngrößen enthält, auch keine Schichtung. Im Gegenteil, er neigt mehr zu einer Zerteilung in senkrechter Richtung, weil die zahlreichen eingeschlossenen, später verfaulten Grashalme und Wurzeln ihn in dieser Richtung auflockern. Die mächtigsten derartigen Staublager finden wir in China. Man nennt die Massen *Löß* (von dem Worte „lose“); Schluchtentäler mit senkrechten Wänden, Terrassenbildungen, Höhlenwohnungen kennzeichnen diese äußerst fruchtbare Landschaft.

Lößegenden haben wir aber auch in *Norddeutschland* in großer Ausdehnung (147). Daß auch sie — wenigstens zum Teil — eine Schöpfung des Windes sind, unter ähnlichen Bedingungen entstanden wie die chinesischen, dafür finden wir verschiedene Beweise: Knochen von Steppentieren (Antilopen, Springmäusen), Gehäuse von Landschnecken (Abb. 11), senkrechte „Wurzelröhren“. Die überaus große *Fruchtbarkeit des Lößbodens* liegt an der Feinheit der Gemengteile, der Wasserdurchlässigkeit, der Fähigkeit, das Grundwasser in den senkrechten Röhren nach oben zu saugen, dem reichlichen Gehalt an kohlensaurem Kalk. Letzterer bildet bisweilen merkwürdige Knollen im Löß (*Lößkindel*).

Es ist klar, daß der eben beschriebene echte „Windlöß“ durch Wasserläufe fortgeschwemmt und an anderer Stelle als geschichteter „Schwemmlöß“ wieder abgesetzt werden kann. Aus solchem besteht z. B. die gewaltige Tiefebene am Hoangho; aber auch manche deutschen Vorkommnisse (Oberrheinische Tiefebene) werden so erklärt. Die überaus fruchtbare *Schwarzerde* (Tschernosjom) Südrußlands ist Löß, der durch reichliche Beimischung von verwesenden organischen Stoffen dunkel gefärbt ist.

8. Eine besondere Art von Ablagerungen unter Mitwirkung des Windes werden wir bei Betrachtung der *Vulkane* (96, 103) noch näher kennen lernen. Die ungeheuren Mengen von Staub, *Asche*, Steinen, die bei einem Vulkanausbruch in die Luft geschleudert werden, fallen — durch den Wind nach der Größe gesondert — wieder herab, bedecken nicht nur in mehr oder weniger *geneigten Schichten* die Bergabhänge, sondern auch die weitere Umgebung der Vulkane (Abb. 12) und verhärten zu „vulkanischem Tuff“.



Abb. 12. Geschichtete vulkanische Schlacken und Aschen vom Kammerbühl bei Eger. (Phot. v. Verf.)

Alle Ablagerungen, die unter Mithilfe des Windes zustandekommen, heißen *äolische Sedimente* (Äolus der Gott des Windes).

Aufgaben: Untersuche Sandkörner aus dem Flusse, der Heide usw. mit der Lupe, und stelle den Unterschied zwischen scharfkantigen und gerundeten Formen fest. Beobachte an geeigneter Stelle das Spiel des Windes mit den Sandkörnern; beeinflusse es, indem du Steine, Holzstücke usw. in den Weg legst. Welchen Einfluß hat ein Baum, eine Telegraphenstange auf die Ablagerungsform? Suche nach Dünen in deiner Heimat. Wie kann

man auf der Landstraße die sondernde Tätigkeit des Windes beobachten? Stelle Vergleiche an zwischen den Ablagerungen des Sandes und den Schneeswehen im Winter. Wie kann man aus der Richtung der Wellenfurchen die Richtung des letzten Windes feststellen? Suche Dreikanter (in manchen Gegenden reichlich unter den Lesesteinen am Feldrande). Sammle Lößschnecken, Lößkindel. Die Wurzelröhren sind oft mit einer weißen, harten Kruste ausgekleidet; was kann das sein? Beobachte die senkrechte Ablösung ganzer Wände in den Lößgruben der Ziegeleien. Wie erkennt man diese Eigenschaft an den Bachtälern der Lößgegenden, z. B. Nordsachsens?

Gletscherablagerungen.

9. **Entstehung der Gletscher.** Nahe den Polen und in höheren Gebirgen fällt der meiste Niederschlag in Form von *staubfeinem Schnee*. Da die Sonnenwärme nicht ausreicht, den gesamten Schnee wegzutauen, bildet derselbe eine stetig wachsende Decke. Das fortwährende Anschmelzen und Wiedergefrieren der feinen Stäubchen verwandelt sie nach und nach in graupenähnliche Körner: *Firnschnee*. Die Körner backen unter Druck zu festem, grauweißem *Firneis* zusammen. Allmählich wird das Eis glasklar; die Körnerumrisse verschwinden, und an ihrer Stelle treten feine, vielfach verzahnte Haarspältchen auf, die man besonders durch Anhauchen (Erwärmen) sichtbar machen kann. Solches Eis heißt *Gletschereis*.

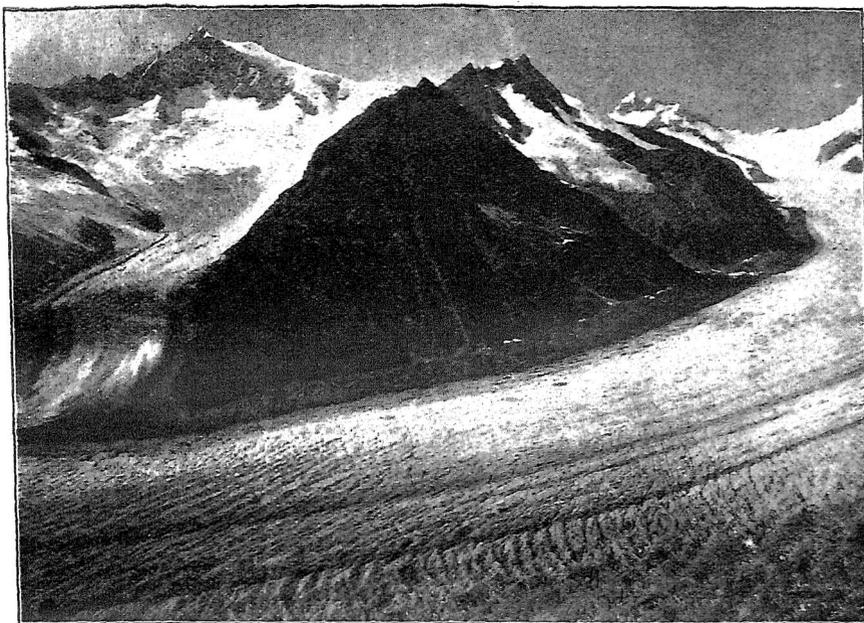


Abb. 13. Großer Aletschgletscher, größter Gletscher der Alpen.
Rechts hinten das Firnfeld mit Jungfrau und Mönch, mitten das Dreieckshorn, links hinten Aletschhorn, von dem der mittlere Aletschgletscher herabkommt. Parallele Moränenbänder, Querspalten.

Die Schnee- und Eismassen sammeln sich im Hochgebirge in den muldenförmigen Vertiefungen zu *Firnfeldern*, oder sie bedecken im Norden, z. B. in Grönland, ganze Länder mit einer riesigen Kappe von „*Inlandeis*“. Die Firnfelder sind die Quellgebiete gefrorener Flüsse, die sich von da aus in vorhandenen Talfurchen abwärts bewegen. Ein solcher Eisstrom oder *Gletscher* bewegt sich wie eine schwerflüssige Masse (Abb. 13) vorwärts, indem die einzelnen Teilchen unter Druck ein wenig anschmelzen und wieder aneinandergefrieren. Die *Geschwindigkeit* beträgt bei einem Alpengletscher täglich etwa 20—30 cm, beim grönländischen Binneneis 3—20 m. An jener Stelle, wo die Sonnenwärme gerade hinreicht, die täglich anrückende Eismasse wegzuschmelzen, hat der Gletscher sein Ende. Durch das *Gletschertor* tritt das Schmelzwasser als Gletscherbach hervor, beladen mit Schlamm und deshalb bisweilen geradezu milchig gefärbt. In polaren Gegenden münden die Gletscher oft unmittelbar ins Meer, und ihre vorgeschobenen Enden lösen sich als schwimmende *Eisberge* ab.

10. Transportierende und ablagernde Tätigkeit der Gletscher. Von den felsigen Hängen zu beiden Seiten des Gletschers fallen Schuttmassen auf die Eisoberfläche, und indem sie langsam mit vorwärts rücken, ordnen sie sich zu einem langen Schuttband oder Wall, der *Seitenmoräne*. Wo zwei



Abb. 14. Geglättetes und geschrammtes Geschiebe aus Kalkstein. (Orig. Dresd. Mus.)

Gletscher sich vereinigen, entsteht aus den einander zugeneigten Seitenmoränen eine *Mittelmoräne*. Da der Gletscher infolge von Zerreißen zahlreiche Quer-, Längs- und Schrägspalten hat, geraten die Steine von der Oberfläche des Eises zum Teil auf dessen Untergrund. Dort vereinen sie sich mit dem Bodenschutt zur *Grundmoräne*. Diese wird als eine breiige, steindurchsetzte Masse vom vorrückenden Eise langsam weitergeschoben; die Steine reiben sich dabei zu runden, geglätteten, aber oft mit Ritzlinien bedeckten *Geschieben* ab. (Abb. 14.) Am Ende des Gletschers bleiben die vorgeschobenen Massen liegen und vereinigen sich mit den Blö-

cken der Oberflächenmoräne zu einer bogenförmigen *End- oder Stirnmoräne*.

Sind aus einer Gegend die Gletscher durch einen Klimawechsel verschwunden, so verraten sie ihre ehemalige Anwesenheit also durch folgende *Ablagerungen*:

1. *Endmoränen*, bogenförmig geschwungene Hügelzüge, zusammengesetzt aus großen und kleinen gerundeten und geschrammten Blöcken und einem lehmigen Bindemittel (Abb. 15).

2. *Grundmoränen*, mehr flächenhaft ausgebreitet, aber mit welliger Oberfläche. Sie bilden eine völlig ungeschichtete Lehmmasse, die sich durch zahllose Steinbröckchen kratzig anfühlt und mit größeren runden Geschieben gespickt ist.

3. *Durch Wasser umgearbeitete Grundmoränen*. Wo die Schmelzwasserbäche die Grundmoränen durchfurchen, sondern sie das Material nach der Größe, und es entstehen schlechtgeschichtete Ablagerungen von Geröll, Kies, Sand, Ton.

4. *Findlinge* oder *erratische Blöcke*. Einzelne mächtige, oft nur wenig gerundete Blöcke liegen verstreut über die ganze einst vergletscherte Fläche.

11. Gletscherablagerungen in Nord- und Süddeutschland. Norddeutschland zeigt heute weder Firnfelder noch Gletscher, wohl aber in überaus großer Verbreitung die obengenannten Ablagerungen. Es gab nämlich eine Zeit, in der das ganze nördliche Europa ähnlich dem heutigen Grönland mit einer Inlandeiskappe überzogen war (*Eiszeit*) (vgl. 147). Die Südgrenze dieser Eismasse berührte den Fuß des Erzgebirges und der Sudeten. Als Andenken

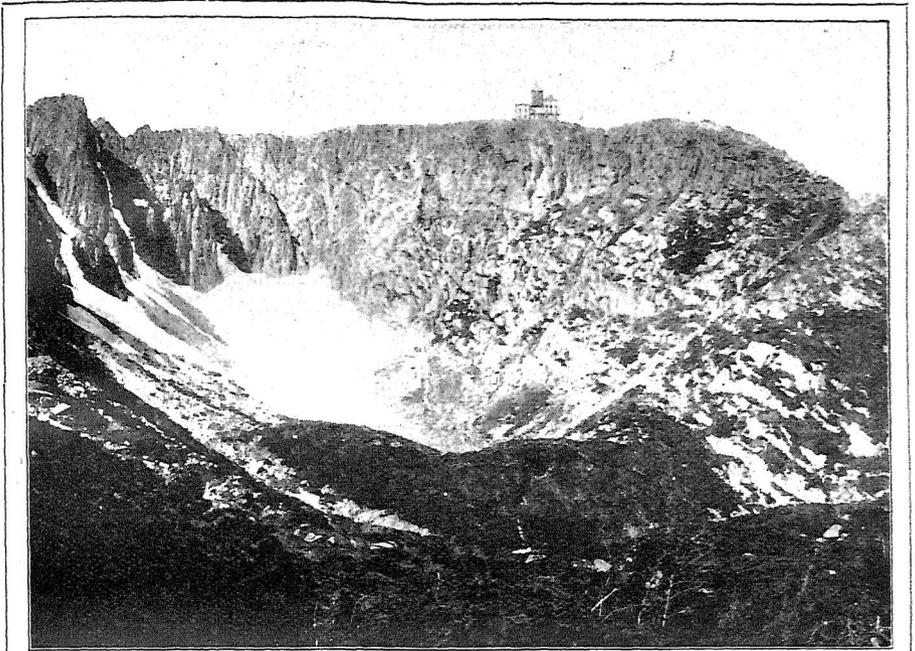


Abb. 15. Große Schneeegrube im Riesengebirge.
Links ein kleiner Firnfleck, vorn eine bogenförmige Endmoräne als Beweis, daß früher auch das Riesengebirge kleine Gletscher besaß. (Phot. v. Friederichsen.)

jener Zeit besitzen wir außer langen Endmoränen und zahllosen Findlingen eine für den Ackerbau wichtige Bodenart, den *Geschiebelehm*. Die darin enthaltenen nordischen Geschiebe, z. B. Feuerstein aus dem Ostseegebiet, rote Quarzsandsteine aus Schweden, Granit aus Finnland, zeigen uns den Weg, den das Eis zurückgelegt hat. Eine kalkreiche und darum noch fruchtbarere Abart des Geschiebelehms ist der blaugraue *Geschiebemergel*. Eine teilweise Umlagerung durch Schmelzwässer läßt sich in vielen Lehm- und Kiesgruben verfolgen. Große *Findlinge* nordischen Ursprungs (Abb. 16) dienen in Norddeutschland oft als Bausteine.

Auch die *Alpen* waren während der Eiszeit in allen Längs- und Quertälern mit einem Netze von Gletschern angefüllt, die sich bis weit in die Schweizer und Oberdeutsche Hochebene hinaus verschoben und dort zu einem einheitlichen, bis 70 km breiten Gürtel verschmolzen. Bis an die Donau bei Sigmaringen, in die Gegend von Kempten, Kaufbeuren, von Ammersee und von München finden wir heute noch die ungeheuren Gletschermoränenablagerungen mit ihren zahllosen Geschiebelehm buckeln und Wasserbecken, und langgestreckte Endmoränenzüge grenzen diese Landschaft im Norden ab. (Weiteres über Gletscher siehe Abschnitt 94.)

Aufgaben: Verwandle einen Schneeball durch Druck in eine eisige Masse.

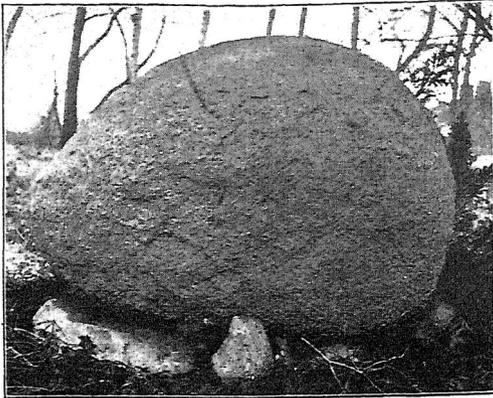


Abb. 16. Findlingsblock aus skandinavischem Granit, bei Wittenberg. (Phot. v. Verf.)

— gleich einem Riesenfirnkorn. Lege über einen Block Kunsteis einen Draht, der an den beiden Enden mit Gewichten beschwert ist. Der Draht schneidet langsam durch das Eis; der Schnitt gefriert aber wieder zu. Zerreiße Geschiebelehm und Löß zwischen den Fingern, um die beiden Bodenarten durch das Gefühl zu unterscheiden. Sammle auf den ausgesiebten Geschiebehaufen einer Lehmgrube verschiedene Arten von Gesteinen. Welche Farbe wiegt dabei vor? Stelle zusammen, welche Bodenarten du bis jetzt kennen gelernt hast.

II. Mechanische Sedimentgesteine.

12. **Entstehung und Kennzeichen.** Wir sahen in der Kiesgrube, daß bisweilen die Gerölle und Sandkörner durch einen *Zement* zu einer festen Felsmasse verkittet werden. Dasselbe kann jede der von uns genannten Arten von Sedimenten erfahren, und so entstehen aus Bodenarten Felsgesteine. Derartige Gesteine heißen nach der Art ihrer Bildung *Sedimentgesteine*. Da ihre Hauptkennzeichen in der Regel die Schichtung der einzelnen Gemengteile ist, nennt man sie auch *Schichtgesteine*. Die Bestandteile eines jeden Schichtgesteins verraten uns deutlich, daß sie Trümmer einer anderen Felsmasse sind, die bereits von ihrem Ursprungsort eine mehr oder weniger lange Reise gemacht und nach ihrer Ablagerung aufs neue verkittet worden sind, daher auch der Name *Trümmergesteine* oder *klastische* Gesteine (griech. *kláo* = ich zerbreche).

13. **Konglomerate und Breccien.** Wenn grobe Flußschotter, Brandungsgerölle, Gletschergeschiebe durch feineres Gereibsel fest verkittet werden, so entstehen *Konglomerate* (lat. *conglomerare* = zu einem Knäuel zusammenballen) (Abb. 17). Reine Quarzkonglomerate sind häufig in den tiefsten Schichten des Elbsandsteingebirges, als Zeugen eines ehemaligen Meeresufers. Konglomerate mit verschiedenartigen Geröllen und einem durch Eisenoxyd rot gefärbten Bindemittel bilden gewaltige Felsmassen im Kohlenbecken von Döhlen bei Dresden und im erzgebirgischen Becken von Flöha, Chemnitz über Zwickau bis nach Thüringen hinein. Auch in Nordsachsen treten sie auf. In den Voralpen bestehen ganze Berge (Rigi) und Bergzüge aus Nagelfluh-Konglomerat.

Viel seltener sind Gesteine aus eckigen Bruchstücken; sie heißen *Breccien* (italienisch, verwandt mit „brechen“). Ein schönes Beispiel für Breccien-

gesteine bieten manche Marmorarten, die an Prachtbauten wegen ihres bunten Aussehens Verwendung finden (37) (vgl. auch Abb. 42). Wo Steinbrüche von größeren Spalten durchzogen sind, finden wir als Ausfüllungsmasse derselben oft hineingefallenes und zusammengebackenes Trümmerwerk.

14. Quadersandstein, eine Meeresbildung. Der Quadersandstein der Sächsischen Schweiz (145) ist als beliebtes Baumaterial in Mitteldeutschland wohl allgemein bekannt.

Schon im „Handstück“ zeigt er uns seine Geschichte; er besteht aus abgerollten weißen Quarzkörnern, nach deren Größe er *grob-, mittel- und feinkörnig* genannt wird. Als Bindemittel¹⁾ dient toniger Schlamm (*Tonsandstein*), Kieselerde (*Kiesliger* oder *Quarzsandstein*), Eisenrost (*Eisenschüssiger Sandstein*), chemisch ausgeschiedener Kalk (*Kalksandstein*), (Abb. 18) oder ein grünliches Mineral namens *Glaukonit*²⁾ (*Grünsandstein*). Dadurch, daß verschiedene Sandsteinarten übereinander lagern, entstehen wagerechte, durch Schichtfugen getrennte *Bänke*. Jede Schichtfuge ist eigentlich selbst eine außerordentlich dünne Schicht, zusammengesetzt aus feinstem Schlamm. Spätere Zerreißungserscheinungen haben dazu noch senkrechte Klüfte hervorgebracht, die die Bänke in „*Quadern*“ gliedern (Abb. 19). Zahlreiche Muschelabdrücke (Abb. 211), Seesterne, Haifischzähne (Abb. 216) beweisen, daß wir es mit einem *Meeresediment* zu tun haben. Da aber namentlich die unteren Lagen sehr grobkörnig sind, da ferner die früher erwähnte (3) Kreuzschichtung oft auf-

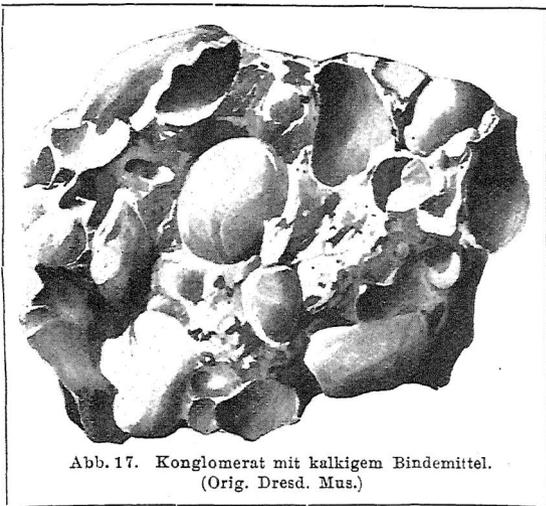


Abb. 17. Konglomerat mit kalkigem Bindemittel.
(Orig. Dresd. Mus.)

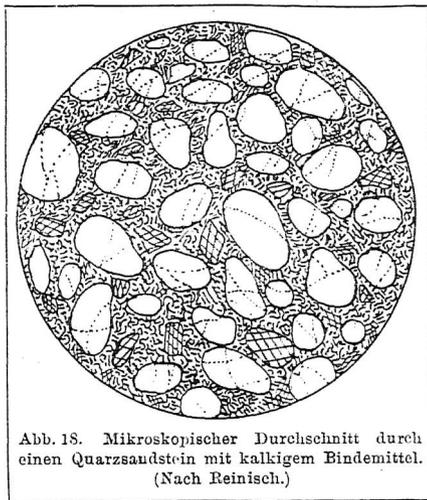


Abb. 18. Mikroskopischer Durchschnitt durch einen Quarzsandstein mit kalkigem Bindemittel.
(Nach Reinisch.)

1) Füge zu einer Untertasse voll Sand Kalkwasser oder feinen Schlamm und beobachte den Vorgang der Verkittung!

2) Es besteht aus Wasser, Kieselerde, Eisenoxyd, bisweilen auch Kali und bildet meist die Ausfüllungsmasse winziger Urtiergehäuse (*Globigerina*).

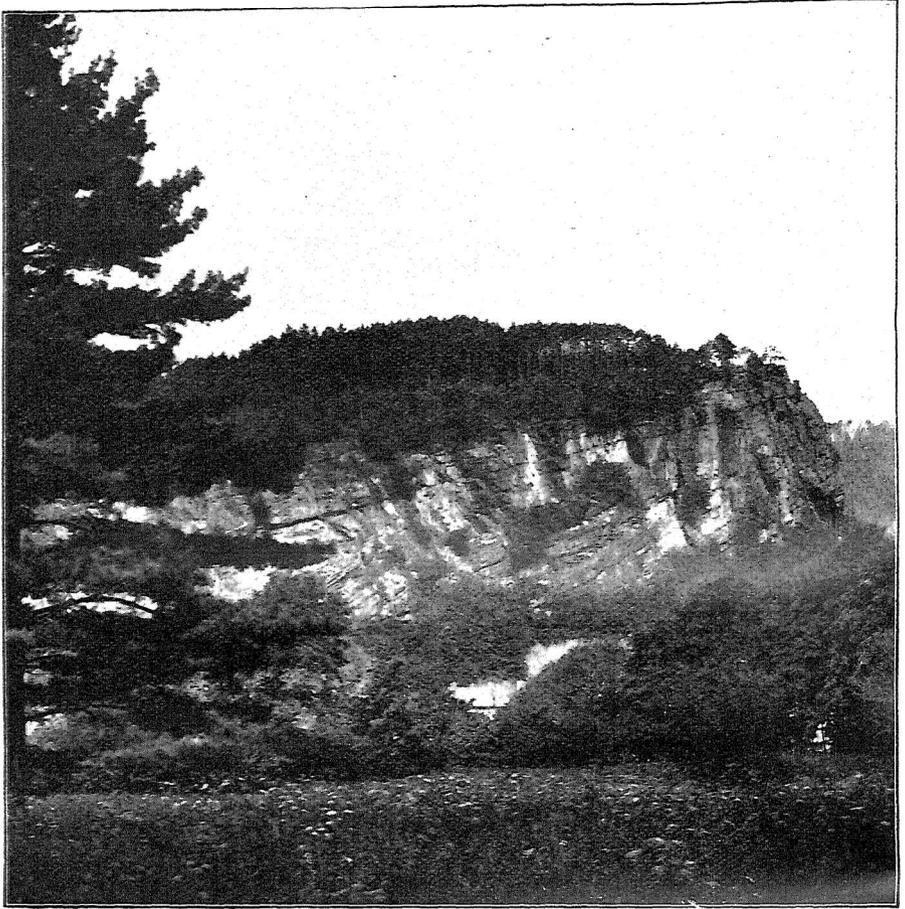


Abb. 19. Schäferwand bei Bodenbach a./E. Schrägliegende Sandsteinbänke durch senkrechte Klüfte in Quadern geteilt. (Hofphot. Eckert-Prag.)

tritt, muß das Meer sehr seicht gewesen sein und eine oft wechselnde Uferlinie besessen haben.

15. **Grauwacke, eine Fluß- und Küstenbildung.** Der Name Grauwacke bezeichnet ein graues Gestein, das dem Sandsteine sehr ähnlich ist. Aber es enthält nicht nur Quarzkörner, sondern eckige und runde *Trümmer verschiedener Herkunft*, z. B. schwarzen Kieselschiefer, rote oder gelbe Feldspatkörner, Glimmerblättchen. Als Zement dient Kieselerde, bisweilen Ton. Bald ist die Grauwacke deutlich geschichtet (*Grauwacken schiefer*), bald ohne jede Spur von Schichtung (*Körnige Gr.*). Bald sind die Trümmer groß (*Konglomeratartige Gr.*), bald nur mit der Lupe zu erkennen (*Dichte Gr.*). Die Gesteinsbeschaffenheit deutet darauf hin, daß die Trümmer in Flüssen oder an der Meeresküste abgelagert worden sind.

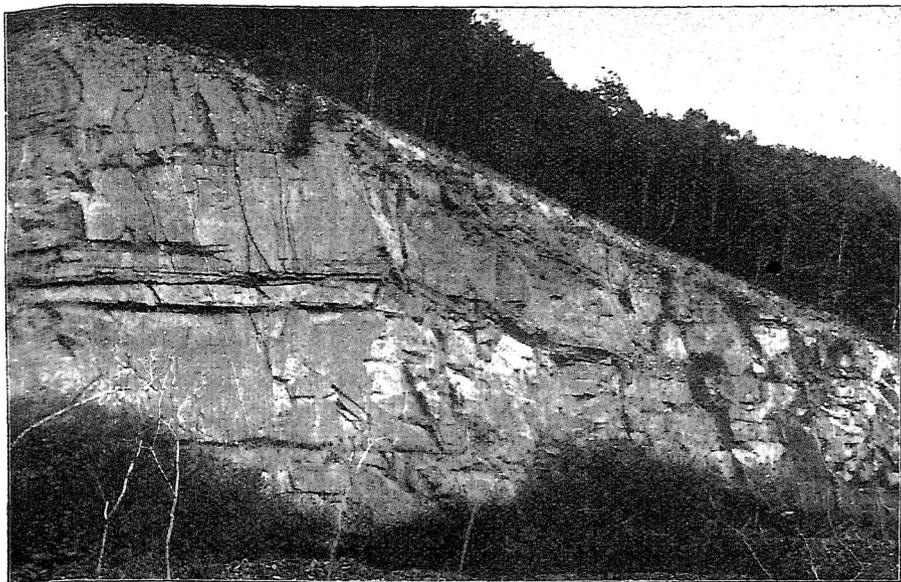


Abb. 20. Steinbruch im Buntsandstein bei Heidelberg. Ungleich dicke, wagerechte Bänke, wechselnd mit lockeren erdigen Schichten von geringer Dicke. Schräge und senkrechte Klüfte. (Phot. v. Ruska.)

Wir finden Grauwacke weit verbreitet in Nordsachsen (Collnberg), bei Chemnitz u. a. O. (138).

16. Buntsandstein, eine Küsten- und Wüstenbildung. In Südwestdeutschland (Schwarzwald, Wasgenwald, Odenwald) finden wir in großer Verbreitung mächtige Sandsteinablagerungen von roter, weißer, grüner Farbe. Meist setzen sie sich aus feinen, allseitig gerundeten Quarzkörnern zusammen, die durch einen rot gefärbten Ton verkittet sind. Sie bilden nicht immer so deutliche Bänke wie der Quadersandstein Sachsens, haben aber ebenfalls senkrechte Klüfte. Die trefflichen Quadern liefern Bausteine (Heidelberger Schloß, die Dome zu Speyer, Worms, Straßburg). (143.) (Abb. 20.)

Auf den Platten des tonreicheren Buntsandsteins findet man häufig netzartige Wülste (Abb. 21), die Ausfüllungen von *Trockenrissen*, *Fußabdrücke* eines großen, aber noch unbekanntes Tieres, Eindrücke von *Regentropfen*, *Wellenfurchen*. Alles dies deutet daraufhin, daß dieser Sand einst periodenweise trocken gelegen und nur vorübergehend große Regengüsse oder Überflutungen ausgehalten hat.

Bedenkt man ferner, daß die rote, von Eisenoxyd herrührende Farbe heute nur bei den Bodenarten der heißesten Gebiete, z. B. Innerarabiens, vorkommt, so liegt der Schluß nahe, daß auch der Buntsandstein einem trockenen und heißen Klima seine Entstehung verdankt. Ob er sich an der Küste eines Meeres oder in den seichten salzigen Binnenseen des Wüstengürtels gebildet hat, oder ob er im wesentlichen aus dem hoch aufgewehten Dünensande der Wüsten aufgebaut ist, darüber



Abb. 21. Buntsandsteinplatte von Hildburghausen mit den Fährten eines eidechsen-ähnlichen Tieres (*Chirotherium*) und ausgefüllten Trockenrissen. (Orig. Dresd. Mus.)

sind die Meinungen noch geteilt.

17. Ton, Tonschiefer. Wenn der Schlamm auf dem Grunde des Meeres oder eines Binnensees trocken gelegt wird und erhärtet, so gibt dies blaugrauen oder rötlichen Ton.

Ton ist chemisch kein bestimmtes Mineral; er enthält eben die feinsten ausgeschwemmten Reste der verschiedensten Gesteine. So finden wir unter dem Mikroskop kleine Glimmerblättchen, Quarzkörner, Feldspatreste, dazu ein neugebildetes Produkt aus Aluminiumoxyd, Kieselerde und Wasser, den Verwitterungston, den man beim Anhauchen an seinem eigentümlichen Geruch erkennt. Seine technische Bedeutung liegt darin, daß er Wasser begierig aufsaugt und dann bildsam (plastisch) wird (89).

Durch Pressung wird der Ton ein wenig schiefrig und heißt nun *Schiefer-ton*. Ist das Gestein lang anhaltendem und starkem Druck ausgesetzt, so wird daraus *Tonschiefer*, eine dunkle, deutlich geschieferte Masse, die keinerlei Geruch mehr aufweist. Unter dem Mikroskop lassen sich in ihm neben den genannten Trümmern kleine dunkle Gebilde nachweisen, die sich mit zerhackten Menschenhaaren vergleichen lassen (Rutil). Man unterscheidet zahlreiche Abarten des Tonschiefers, z. B. *Kohlenschiefer*, durch köhlige Binnenfurchen fast schwarz; *Brandschiefer*, von organischen Umwandlungsstoffen so durchtränkt, daß er brennt; *Alaunschiefer*, durch sein verteiltes Schwefeleisen blaugrau. Tonschiefer ist weit verbreitet im Erzgebirge, Vogtland, Thüringer Wald; Harz, Rheinischen Schiefergebirge usw.

III. Chemische Sedimente.

Steinsalz.

18. Chemische Zusammensetzung des Kochsalzes. Wir füllen einen Glaszylinder mit dem grünen, giftigen *Chlorgas* (Chlorum, Cl) und werfen ein dünnes Scheibchen des silberweißen, wachswweichen *Natriummetalles* (Natrium, Na) hinein. Nach einiger Zeit ist letzteres zu einer weißen, pulverigen Masse geworden, die sich im Geschmack wenig von unserem gewöhnlichen Speise- oder Kochsalz unterscheidet. Durch einfache Addition oder *Synthese* hat sich aus zwei Grundstoffen oder *Elementen* eine *chemische Verbindung* gebildet, die der Chemiker *Chlornatrium* oder *Natriumchlorid* (NaCl) nennt. Alle Verbindungen, die aus einem Metall und Chlor bestehen, gehören zur Familie der *Chloride*.

Zum Nachweise, daß unser käufliches Kochsalz Natrium enthält, bringen wir einige Körnchen in eine nichtleuchtende Gas- oder Spiritusflamme. Diese färbt sich grellgelb, genau so wie bei der Verbrennung des Metalls Natrium. Um auch das Chlor nachzuweisen, müßten wir Kochsalz durch den elektrischen Strom zerlegen (*elektrische Analyse, Elektrolyse*).

19. Löslichkeit. Wirft man Kochsalz in ein Probierglas voll Wasser und schüttelt es gut um, so ist es in kurzer Zeit verschwunden: es hat sich aufgelöst. Für die Geschwindigkeit des Auflösungs Vorganges ist es ziemlich gleichgültig, ob das Wasser heiß oder kalt ist. Unsere Flüssigkeit heißt nun eine *Lösung*; Wasser ist ein *Lösungsmittel* für Kochsalz. Fügt man immer neue Salz mengen hinzu, so bleibt schließlich ein Bodensatz, der auch nach längerer Zeit nicht verschwindet; die Lösung ist nicht mehr fähig, neues Salz aufzunehmen; sie ist *gesättigt*. 100 g einer gesättigten Lösung enthalten 27 g Kochsalz¹⁾; es gehört zu den *leichtlöslichen* Körpern. Nehmen wir dem Salze sein Lösungsmittel, indem wir dieses *verdampfen*, so ist es gezwungen, sich als fester, pulveriger Körper wieder auszuschcheiden. Gießen wir ein wenig Salzlösung auf eine Glasplatte und überlassen sie der langsamen *Verdunstung*, so bleibt das Kochsalz in Gestalt von etwa millimetergroßen Würfelchen zurück. Noch langsamer vollzieht sich die Verdunstung, wenn wir die Lösung in einem gewöhnlichen Becherglase der Luft aussetzen. Nach Wochen erhalten wir am Boden des Glases eine Salzschiicht mit ziemlich großen Würfeln. Wir erkennen das Gesetz: *Je langsamer die Verdunstung des Lösungsmittels, desto besser und größer sind die Würfel ausgebildet*.

20. Kristallform des Kochsalzes. So oft wir obige Versuche wiederholen, immer zeigt uns das ausgeschiedene Kochsalz die bekannte Würfelform. Es wohnt in den kleinsten Teilchen, den *Molekülen* (lat. *móles* = Masse, *moléculum* = Massenteilchen), eine geheimnisvolle *richtungsgebende* Kraft, die sie zwingt, sich stets in gleicher Weise zu größeren Körpern zusammenschließen. Solche gesetzmäßige Formen der Mineralien heißen *Kristalle*. Sie stellen die Einzelwesen, die *Individuen*, im Mineralreiche dar. An jedem Kristall unterscheiden wir eine feststehende Zahl von *Flächen*, *Kanten* und *Ecken*. Der Würfel z. B. besitzt 6 Flächen, und zwar gleichgroße Quadrate, 12 Kanten und 8 Ecken. Nicht immer sind die Salzwürfel in der Natur modellscharf; Mißbildungen, *Verzerrungen* sind bei den Mineralien weit häufiger als bei Tieren und Pflanzen. Aber eins bleibt immer gleich, nämlich der Winkel, unter dem je zwei Flächen einander in einer Kante treffen: er beträgt stets 90°. (*Gesetz von der Konstanz der Winkel*.) (Vgl. die Lehre von den Kristallen im Anhange.)

21. Spaltbarkeit. Durch einen leichten Hammerschlag oder durch Bearbeiten mit dem Meißel entstehen aus einem Salzkristall Bruchstücke, deren

1) Oder — anders ausgedrückt — 100 ccm (= 100 g) reinen Wassers vermögen (bei 50°) 36,98 g Kochsalz aufzulösen.

völlig glatte, glänzende Flächen einander wiederum unter 90° schneiden. Man sagt: Kochsalz besitzt eine *vollkommene Spaltbarkeit parallel den Würfel-flächen*. Die durch den Schlag erhaltenen Stücke sind keine Kristalle, keine Individuen mehr, sondern heißen *Spaltungsstücke*. An jedem größeren Kristall macht sich die Spaltbarkeit bereits durch zahlreiche, einander rechtwinklig schneidende Sprünge bemerkbar. Diese Beobachtungen beweisen, daß die Salzmoleküle in gewissen Richtungen weniger innig aneinanderhaften als in anderen.

22. Härte. Die Schneide eines Stahlmessers, ein scharfer Glasscherben, der Rand eines Kupferpfennigs erzeugen auf der glatten Kristallfläche des Kochsalzes einen tiefen Ritz. Ja, sogar ein kräftiger Druck mit dem Fingernagel genügt, um eine schwache Linie hervorzurufen. Kristallisiertes Kochsalz setzt also dem Eindringen spitzer Fremdkörper nur einen geringen Widerstand entgegen. *Den Widerstand, den ein Körper einer eindringenden Spitze entgegensetzt, nennt man Härte*. Kristallisiertes Kochsalz besitzt einen *geringen Härtegrad*; es ist weicher als Stahl, Glas, Kupfer, Horn und nähert sich der Härte, die wir an einer Gipsfigur beobachten. (Zusammenstellungen über Härte siehe im Anhang.)

23. Vorkommen des Kochsalzes. Kochsalz ist einer der verbreitetsten Stoffe auf der Erde, teils im gelösten, teils im festen Zustande. Wir unterscheiden nach der Art des Auftretens 1. Kochsalz als Lösung: a) *Seesalz*, b) *Quellsalz*. 2. Als Mineral: a) *Steppensalz*, b) *Steinsalz*. In trockenen Ländern sind nicht nur die Flüsse ziemlich reich an Salz, sondern der ganze Boden ist damit durchsetzt. Zieht sich in den feinen Erdspalten das Grundwasser nach oben, so bringt es stets Salz mit und läßt dieses beim Verdunsten an der Erdoberfläche zurück: das Salz blüht aus, *effloresziert* (lat. *efflorescere*). Bei weitem größere Bedeutung als dieses Steppen- und Wüstensalz besitzt aber das *Steinsalz*. Gewaltige Lager desselben, bald wie ebene Schichten, bald als unregelmäßig gerundete Felsmassen oder Salzstöcke oder als wild zerackte Gebilde wie die versteinerten Riesenwogen eines Ozeans, liegen eingebettet zwischen anderen Schichtgesteinen, vor allem zwischen Ton und schwefelsaurem Kalk (Gips). In Norddeutschland beträgt die Mächtigkeit der Salzlager stellenweise mehr als 1000 m. Die für die Volkswirtschaft wichtigsten deutschen *Steinsalzlager* sind: Hohensalza (Posen), Staßfurt-Leopoldshall (Abb. 28), Halle, Gera, Artern (Thüringen), Friedrichshall, Schwäbisch-Hall, Dürnheim (Baden), Berchtesgaden, Reichenhall. Seit der Urzeit wird das Lager von Hallstatt (Salzkammergut) benutzt. Durch seine in Salz gehauenen Grotten, Festsäle, Kirchenhallen, Seebecken ist das Bergwerk von Wieliczka-Bochnia (Galizien) berühmt (146). In Spanien befindet sich bei Cardona eine 90 m hohe Felsmasse reinsten körnigen Steinsalzes, das an offenen Terrassen bruchsteinähnlich (im „Tagebau“) gewonnen wird. Ist das Steinsalz rein, so wird es einfach in unterirdischen Höhlen, Schächten abgehackt und zutage gefördert. Ist es dagegen stark durch Ton usw. verun-

reinigt, so setzt man die unterirdischen Höhlen unter Wasser (Sinkwerke) und stellt so eine möglichst starke Salzlösung (Sole) her, die man emporpumpt und eindampft. (Siehe Chemie.) Ein Erwachsener verbraucht jährlich 7,8 kg Kochsalz.

Aufgaben: Züchte Kristalle aus Lösungen von Zucker, Salz, Alaun, Kupfervitriol, und beobachte die Verschiedenheit der Formen. Beobachte das Emporsteigen der Lösung und das Ausblühen der Salze an eingehängten Fäden. Fülle einen Blumentopf oder Untersetzer mit Erde, übergieße diese mit Salzlösung, und verfolge das Aufblühen des „Steppensalzes“. (Auch Kupfervitriol, Salpeter und Salmiak eignen sich gut für diesen Versuch.) Stelle Versuche über Spaltbarkeit mit anderen im Haushalt befindlichen Stoffen an, z. B. Kandiszucker, Soda.

Anhydrit und Gips.

24. Chemische Zusammensetzung. Übergießt man ein Stück gebrannten Kalkes, wie er beim Hausbau Verwendung findet, mit Schwefelsäure, so verbinden sich die beiden Stoffe unter starker Erhitzung zu *schwefelsaurem Kalk* oder *Kalziumsulfat* (CaSO_4). Das darin enthaltene Metall Kalzium (Calcium, Ca) gibt sich durch eine Gelbrotfärbung der Gasflamme zu erkennen. Der gewonnene Körper ist chemisch derselbe wie das weiße Pulver, aus dem man Figuren formt, und das man aus dem Mineral *Gips* hergestellt hat. Um natürlichen Gips technisch zu verwerten, muß man ihn auf etwa 130° erhitzen. Dabei bläht er sich auf, gibt Wasser in Dampfform ab und zerfällt schließlich zu Pulver. Gips ist nämlich zunächst nicht reines Kalziumsulfat; er hält noch zwei Moleküle Wasser locker an sich gebunden als *Kristallwasser*. Es gibt aber in der Natur neben dem wasserhaltigen Gips auch ein *wasserfreies Kalziumsulfat* unter dem Namen *Anhydrit* (griech. *ánhydros* = wasserlos).

25. Löslichkeit. Die Löslichkeit des Gipses ist wesentlich geringer als die des Kochsalzes; 100 g Wasser vermögen nur $\frac{1}{4}$ g, in Gegenwart von Kochsalz $\frac{5}{6}$ g Gips zu lösen. So geringfügig dies im chemischen Laboratorium erscheint, so viel bedeutet es im Haushalte der Natur, die mit gewaltigen Wassermengen und langen Zeiträumen arbeitet. Fast jedes Leitungs- und Flußwasser enthält Spuren von Gips; im Meerwasser steigert sich der Gehalt bis zu $\frac{1}{6}$ Prozent, und dort, wo ganze Felsmassen aus Gips anstehen, frißt das Wasser tiefe Risse, Schluchten, Höhlen in das Gestein. Löst man in einem Becherglase mit Wasser ein wenig Gips und einige Löffel Kochsalz und dampft dann ab, so scheidet sich *zuerst das schwerer lösliche* Kalziumsulfat als feiner Bodensatz aus, und viel später beginnt die Auskristallisation des Chlornatriums. Dieser Vorgang wiederholt sich im großen, wenn man die fast stets etwas gipshaltige Salzsole über das „Gradierwerk“ träufeln läßt: der Gips bleibt nebst anderen schwerlöslichen Stoffen als „Dornstein“ bereits auf dem Reisig zurück, während zur Ausscheidung des Kochsalzes der Siedeprozess nötig ist. Der Anhydrit ist im Wasser unlöslich; aber er wandelt

sich darin unter Aufnahme von zwei Molekülen Wasser in Gips um. Dabei vergrößert er sein Volum ganz bedeutend: 100 cbm Anhydrit liefern rund 160 cbm Gips. Erfolgt dieses „Aufquellen“ in größerer Erdtiefe unter dem Drucke auflastender Felsmassen, so entstehen aus den ursprünglich gestreckten, in Ton eingebetteten Anhydritlagen die merkwürdig gefalteten „*Gekrösegipse*“.

26. **Kristallformen.** Der Gips zeigt oft schöne und große Kristalle. Die *Grundform* derselben ist eine vierseitige Säule (Prisma), die oben und unten durch ein nach vorn geneigtes Viereck (Basisendfläche) abgeschlossen ist; daher der Name geneigtes oder schiefes Prisma (*monoklines Prisma*; griech. *mónos* = einzig; *klinein* = neigen, d. h. nach einer Seite geneigt) (Abb. 22). Durchschneidet man ein solches Prisma senkrecht in der Richtung der vorderen und hinteren Kante, so erhält man zwei spiegelbildlich gleiche oder *symmetrische* Hälften. Meist treten an die Säule zwei große *Seiten- oder Längsflächen* und als oberer und unterer Abschluß zwei *dachähnlich* zusammenstoßende Flächen, die zu einem schief liegenden Prisma gehören (Abb. 23). Denkt man sich diese Form durch einen senkrechten Schnitt in eine vordere und hintere Hälfte geteilt, erstere dann, um 180° gedreht, wieder angesetzt, so erhält man einen pfeilspitzenähnlichen Doppelkristall, einen *Zwilling* (Abb. 24). Stattliche Zwillinge mit glänzenden Seitenflächen, rauhem Umriss und ebenfalls pfeilähnlicher Gestalt sind unter dem Namen „*Schwalbenschwanzzwillinge*“ namentlich aus den berühmten Gipsbrüchen nördlich von Paris bekannt (Abb. 25). Da solche Kristalle sich parallel zu den Seitenflächen überaus leicht spalten lassen, kann man sich papierdünne derartige Zwillinge herstellen.

Anhydrit bildet nur selten deutliche Kristalle, kleine Säulen von rhombischem Querschnitt. Da er aber eine ausgezeichnete Spaltbarkeit nach drei rechtwinklig aufeinanderstehenden Richtungen besitzt, liefert er oft würfelförmliche, bläuliche oder farblose Spaltungsstücke.

27. **Abarten.** Nicht immer ist der Gips deutlich kristallisiert; oft bildet er glänzende Spaltungsplatten mit unbestimmten Umrissen, das *Marienglas*. Auf Gesteinsklüften scheidet er sich in weißen parallelen Fasern rechtwinklig zur Klüftfläche aus: *Fasergips* (Abb. 26). Eine milchweiße, durchscheinende Abart findet unter dem Namen *Alabaster* wegen ihrer *geringen Härte* (fast gleich dem Steinsalz) zu gedrechselten und geschnitzten Schmuckgegenständen oder Statuen Verwendung. Große Felsmassen, wie sie z. B. am Südrande des Harzes als Begleiter von Steinsalzlageren auftreten, heißen *dichter Gips*.

28. **Das Meer eine Salzlösung.** Schon durch seinen Geschmack verrät Seewasser, daß es Salz gelöst enthält. 60 cbm Meerwasser ergeben tatsächlich beim Verdampfen 1 cbm Salz.¹⁾ Würde man den Stillen Ozean eindampfen können, so bliebe eine Salzschrift von 100 m Dicke am Boden

1) Ein Sprengwagen (2 cbm) voll Nordseewasser würde 70 kg Salz liefern.

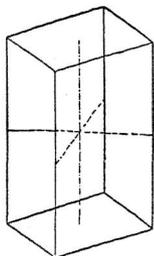


Abb. 22. Monoklines Prisma; 4 Säulenflächen, 2 Basisenflächen.

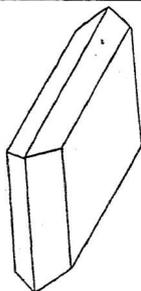


Abb. 23. Einfacher Gipskristall, vorn 2 Säulenflächen, rechts Seitenfläche, oben 2 schräge (Pyramiden-)Flächen.

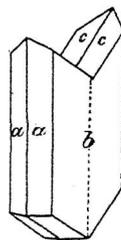


Abb. 24. Zwei Gipskristalle wie Abb. 23 zu einem Zwilling verwachsen; b die Zwillingnaht.

übrig; das Mittelmeer würde 27 m Salzschrift liefern. Für sämtliche Weltmeere würde die Schicht 60 m betragen; mit dieser Salzmenge könnte man das europäische Festland mehr als dreimal aufbauen. Nicht alle Meere haben gleichen *Salzgehalt*, wie nachstehende Übersicht zeigt:

Atlantischer Ozean	3,5%	(Durchschnittsgehalt in den Weltmeeren!)
Nordsee	3,4%	
Ostsee	0,8%	(Viel Süßwasserzufluß!)
Schwarzes Meer	1,8%	
Rotes Meer	3,9%	(Starke Verdunstung!)
Totes Meer	24,0%	(Für Kochsalz fast gesättigt!)

Von diesem Salz ist aber nur etwa $\frac{4}{5}$ Chlornatrium; das übrige wird durch verwandte Salze zusammengesetzt. Letztere enthalten:

1. Die dem Natrium verwandten Metalle Kalium (K), Kalzium (Ca), Magnesium (Mg).

2. Die dem Chlor entsprechenden Elemente Jod (J) und Brom (Br), die man zusammen als Salzbildner oder Halogene bezeichnet.

3. Schwefelsäure (H_2SO_4).

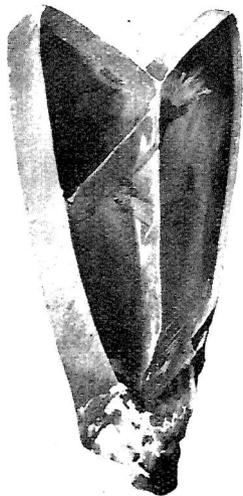


Abb. 25. Schwalmenschwanzgipszwillingskristall vom Montmartre bei Paris. $\frac{1}{2}$ nat. Größe. (Orig. d. Verf.)

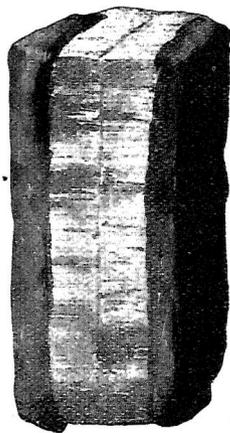


Abb. 26. Fasergips, in der Mitte die „Zuwachsnaht“; Spaltenausschnitt im dichten Gips von Jena. (Orig. d. Verf.)

Die wichtigsten im Meerwasser noch vorkommenden Salze sind folgende:

1. *Chlormagnesium, Magnesiumchlorid* ($MgCl_2$). Es ist ebenfalls ein weißer Körper, der sich in noch viel größeren Mengen im Wasser löst als Kochsalz, der sogar Feuchtigkeit aus der Luft an sich zieht, um sich lösen zu können. Solche Körper heißen *hygroskopisch* (gr. *hygrós* = feucht, *skopein* = sehen). Das Magnesiumchlorid bindet beim Auskristallisieren sechs Moleküle „Kristallwasser“.

2. *Chlorkalium, Kaliumchlorid* (KCl). Die farblosen, durchsichtigen Würfel schmecken ähnlich wie Kochsalz und lösen sich leicht.

3. *Schwefelsaures Magnesium, Magnesiumsulfat, Bittersalz* ($MgSO_4$). Die farblosen Kristalle schmecken widerlich bitter und lösen sich rasch. Beim Erhitzen schmelzen sie und liefern reichlich Wasserdampf, weil sie sieben Moleküle Kristallwasser enthalten.

Als Beispiel, in welchem Mengenverhältnis diese Salze auftreten, diene folgende Tabelle. In 1000 Gramm Meerwasser fanden sich:

26,9 g Chlornatrium (Kochsalz),
3,2 „ Chlormagnesium,
0,6 „ Chlorkalium,
2,2 „ Magnesiumsulfat (Bittersalz),
1,3 „ Kalziumsulfat (Gips),
34,2 g.

29. Gewinnung des Meersalzes. In kalten Gegenden kristallisiert das Salz aus, wenn sein Lösungsmittel *gefriert*, also auf der Oberfläche der Eisschollen. In heißen Gegenden zwingt man es zur Ausscheidung, indem man das Wasser *verdunsten* läßt. Dies geschieht z. B. an den Flachküsten des Mittelmeeres und Westfrankreichs in sogenannten *Salzgärten*. Man läßt während der Flut Seewasser durch einen Kanal in ein riesiges Sammelbecken laufen, leitet es dann weiter in *Klärbassins*, wo sich Schlamm absetzt, dann in *Anreicherungs-bassins*, wo der Gips ausfällt, und pumpt die Lösung schließlich in kleinere Becken, wo man das Wasser fast ganz verdunsten läßt. Nach 3–6 Monaten ist ein solches Becken voll Salz. Man läßt den Rest der Lösung, die *Mutterlauge* mit den leichtlöslichen Salzen, ins Meer zurücklaufen, schichtet das Kochsalz zum Trocknen auf und pulvert es dann in Salzmühlen. Es gibt solche Salzgärten von mehr als 10 qkm Größe.

30. Entstehung der Steinsalzlager. Der eben besprochene künstliche Abdampfungsprozeß gibt uns einen Fingerzeig, wie sich vielleicht die riesigen Steinsalzlager des Festlandes einst gebildet haben könnten. Ohne Zweifel sind sie die *Rückstände von Salzlösungen*, also von Meeresbecken. Es fragt sich nur, welche Umstände diese Wasserbecken in gesättigte Lösungen verwandelt und schließlich ihre völlige Austrocknung herbeigeführt haben. Vielleicht waren es *Meeresbuchten*, die durch eine Bodenschwelle, eine „Barre“,

derart vom offenen Ozean abgeschnürt waren, daß nur bei hoher Flut ein seichter Wasserstreifen die Verbindung aufrechterhielt (Abb. 27). War das Klima trocken und heiß, so verdunstete im Laufe des Jahres etwa so viel Wasser, als die Fluten hereinführten. So wurde die Lösung immer salzhaltiger, konzentrierter. Schließlich war das am schwersten lösliche Salz, das *Kalziumsulfat*, zur Ausscheidung gezwungen. Darauf folgten die großen Mengen von *Steinsalz*, bis das Becken fast bis an den Barrenrand ausgefüllt war. Die letzte Mutterlauge mit den leichtlöslichen Salzen entwich als *schwere Unterströmung* in den Ozean, wenn eine Flut hereinbrach. Nur in seltenen Fällen blieb die Mutterlauge erhalten, und die darin befindlichen Salze erstarrten unter der Einwirkung des trockenheißen Klimas. Wurde dann eine luftdichte Staubdecke darübergeweht, so blieben die *Mutterlauge*nsalze dauernd ausgeschieden.

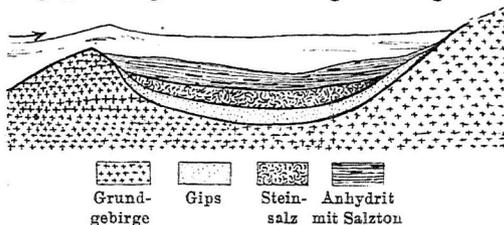


Abb. 27. Bildung eines Steinsalzlagers in einem Meerbusen hinter einer Barre. (Nach Ochsensius.)

Ähnlich günstige Bedingungen zur Bildung von Steinsalzlager bieten auch die abflußlosen *Steppenseen*, z. B. das Tote Meer, der Salzsee von Utah in Nordamerika, die Schotts auf den Hochebenen des Atlas. „Barrentheorie“ und „Wüstentheorie“ werden beide von den Forschern zur Erklärung der Salzlager herangezogen.

Die *Lagerungsverhältnisse* eines Steinsalzlagers können wir am besten in *Staffurt* beobachten (Abb. 28). In diesem mehr als 900 m mächtigen Schichtenbau (142) liegt zu unterst Anhydrit, dann bis 600 m Steinsalz in Lagen von 8—9 cm Dicke, getrennt durch feine Schnüre von Anhydrit. Jede der letzteren entspricht einer feuchteren Periode oder einem gesteigerten Wasserzufluß. Dann folgt eine Schicht *Polyhalit* (gr. *poly* = viel, *hals* = Salz) (schwefelsaures Kalzium, Kalium, Magnesium), darüber mattweißer *Kieserit* (schwefelsaures Magnesium, wie Bittersalz, aber nur mit zwei Molekülen Kristallwasser), schließlich etwas fettglänzender *Carnallit* (Chlormagnesium und Chlorkalium, nach Berghauptmann v. Carnall genannt). Zu diesen Salzarten, die sich übrigens zum Teil erst bei späteren chemischen Umsetzungen gebildet haben, kommt noch eine große Zahl weiterer¹⁾ hinzu. Früher räumte man all diese Mutterlauge salze als unbrauchbar weg, um zu dem Steinsalz zu gelangen, und bezeichnete sie deshalb als *Abraumsalze*. Heute spielen gerade diese wegen ihres hohen Gehaltes an Kalium eine überaus große Rolle in der Landwirtschaft als wertvolles Düngemittel (Kalisalze, Edelsalze), und der Kalisalzbergbau nimmt in Norddeutschland immer

1) Z. B. Sylvinit, Gemenge von Kochsalz mit Sylvit, KCl, schwarze Bänder mit Steinsalz bildend. Ferner Kainit (Chlorkalium und schwefelsaures Magnesium).

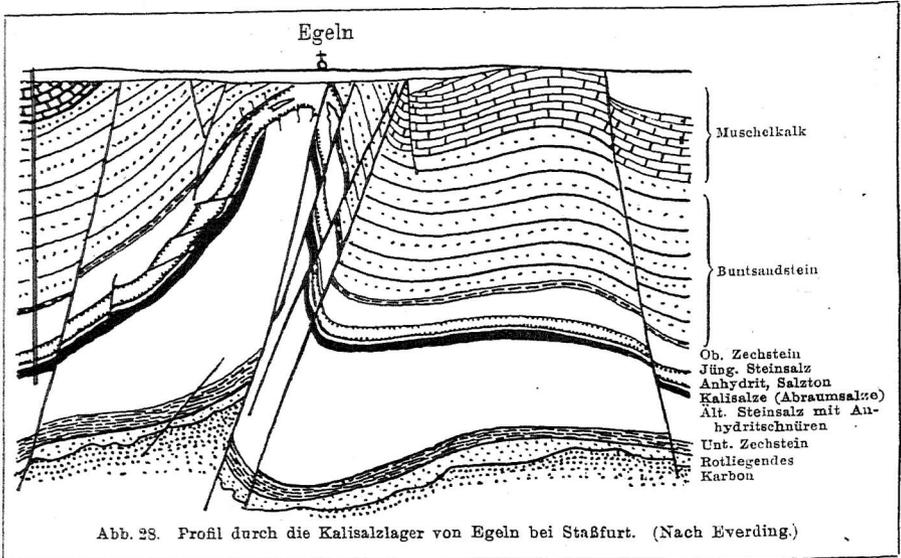


Abb. 28. Profil durch die Kalisalzlager von Egelns bei Staßfurt. (Nach Everding.)

größeren Umfang an. Im Jahre 1887 wurden 1,092 Mill. t gefördert, 1900 3,037 Mill. t und 1910 8,340 Mill. t.

31. Salpeter. Viel seltener als Steinsalzlager sind auf der Erde Schichten von Salpeter (lat. sal petrae = Felsensalz). Dieser enthält die Salpetersäure (HNO_3), gebunden an die Metalle Kalium, Natrium, Kalzium u. a. Die wichtigsten Abarten sind:

1. *Kalisalpeter* KNO_3 ,

2. *Natronsalpeter* NaNO_3 . Letzterer bildet im nördlichen Chile, in der *Wüste Atacama*, eine schmale, aber fast 800 km lange Zone vereinzelter Lager am flachen Ostgehänge der Küstenkordillere. Verborgen unter einer oberflächlichen Schutt- ablagerung und einer sehr festen, von Rissen durchzogenen Kruste liegt die salpeterführende Schicht (*Caliche* spr. kalitsche). Sie ist ein durch allerhand Salze verkittetes Trümmergestein, in dessen Bindemittel neben Kochsalz, wasserfreiem schwefelsauren Natrium usw. durchschnittlich 20–30% Natronsalpeter vorhanden sind. Die vielen Begleitsalze, unter denen noch die Jodverbindungen technisch wichtig sind, erinnern sehr an die Mutterlaugensalze von Staßfurt, und es ist sicher, daß wir es auch hier mit einer eingedampften Salzlösung zu tun haben. Nun enthalten aber weder das Meerwasser noch die Steppenflüsse und -seen salpetersaure Salze in Lösung. Diese müssen sich erst nachträglich durch Zuführung von Stickstoff oder Salpetersäure umgebildet haben. Als Quelle dieser Salpetersäurezufuhr hat man bald die stark elektrisch geladenen *Nebel*, bald kleine *Bakterien*, bald den von den nahen Küsteninseln stammenden *Guanostaub* angesehen. Deutschland verbrauchte 1913 für 171. Mill. M Chilisalpeter als bestes und billigstes Stickstoffdüngemittel.

Kohlensaurer Kalk.

32. Chemische und Lösungsverhältnisse. Übergießen wir Kreide mit Schwefelsäure, Salzsäure oder starkem Essig, so bilden sich unter Aufbrausen Gasblasen: die starke Säure verdrängt die im Kreidepulver enthaltene schwächere Kohlensäure (Kohlendioxyd) CO_2 . Kreide ist wie gewöhnlicher Kalkstein oder Marmor das Oxyd des Kalziummetalls, verbunden mit Kohlensäure, also kohlensaures Kalzium, *kohlensaurer Kalk* oder *Kalziumkarbonat*. $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$. Im Kalkofen wird die Kohlensäure desselben durch Hitze ausgetrieben; *gebrannter Kalk* ist demnach CaO . Übergießen wir letzteren mit Wasser („Löschen“), so wird unter Erhitzung ein Molekül Wasser chemisch gebunden; es entsteht *gelöschter Kalk* oder *Kalziumhydroxyd*. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$. Dies *löst sich* in der 700fachen Wassermenge zu klarem *Kalkwasser*. Leiten wir Kohlensäure in Kalkwasser, so zeigt sich sofort eine milchige Trübung, und das weiße Pulver des neugebildeten Kalziumkarbonats fällt zu Boden. *Kohlensaurer Kalk ist also unlöslich*. Setzen wir aber die Zuleitung von reichlicher Kohlensäure einige Minuten fort, so verschwinden Trübung und Pulver wieder völlig: Das Pulver hat unter Aufnahme von einem weiteren Molekül Kohlendioxyd und Wasser sich in *löslichen doppeltkohlensaurer Kalk* verwandelt. $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$. Bringen wir nun unsere klare Lösung über die Flamme, so scheidet sich sofort ein Teil Kohlensäure wieder aus, und der einfach-kohlensaure Kalk bedeckt den Boden des Gefäßes. Obgleich in 1000 Teilen mit Kohlensäure gesättigten Wassers sich nur ein Teil Kalziumkarbonat unwandeln und lösen kann, ist dieser Vorgang doch für die Natur von ungeheurer Bedeutung. *Fast jedes Wasser enthält etwas Kalk in Lösung*, „weiches“ Wasser wenig, „hartes“ viel. Die Elbe bringt aus Böhmen jährlich eine viertel Million Tonnen kohlensauren Kalk mit; der Rhein enthält in 100000 Teilen Wasser 9,46 Teile Kalk; dem Teutoburger Wald und Haarstrang wird jährlich ein Kalkwürfel von 33 m Seitenlänge entzogen. Selbstverständlich muß auch das Meer, als Sammelbecken aller Flüsse, Kalk enthalten.¹⁾ Die Natur besitzt verschiedene Mittel, den gelösten, wandernden doppeltkohlensauren Kalk wieder in das einfache Karbonat zu verwandeln und zum Absatz zu zwingen.

33. Ausscheidung von Kalk aus kalter Lösung. Verdunstet kalkhaltiges Wasser sehr langsam, dann scheidet sich der kohlensaure Kalk aus. So bildet das abtropfende Wasser in Höhlen eiszapfenähnliche Gebilde (*Stalaktiten*); die aufschlagenden Tropfen bauen schlanke Kegel (*Stalagmiten*), vereinigen diese unter Umständen mit den Zapfen zu *Säulen*; die Wände überziehen sich mit *tapeten-* oder *vorhangähnlichen* Massen von *Kalksinter* (Bau-

1) Warum dieser Kalkgehalt wider Erwarten sehr gering ist, wird später erläutert werden.



Abb. 29. Grotte von Dargilan in Südfrankreich; „Festsaal“ mit Tropfsteingebilden.

manns- und Hermannshöhle im Harz, Dechenhöhlein Westfalen, zahlreiche Höhlen des schwäbisch-fränkischen Juragebirges [Nebelhöhle bei Pfullingen, Muggendorfer, Gailenreuther Höhle], Adelsberger Grotte im Karst, Grotte von Dargilan in Südfrankreich) (Abb. 29). Im kleinen kann man derartige „Tropfsteine“ an Brückenbogen beobachten, wo sie sich durch Auslaugung des Mörtels bilden.

Noch langsamer erfolgt die Ausscheidung des Kalkes, wenn das Wasser in feiner, kaum sich bewegender Schicht die Wände einer Gesteinspalte überzieht.

Hier entstehen dann die schönen Kristalle von Kalkspat (38).

34. **Ausscheidung aus heißer Lösung.** Kocht man hartes Wasser, so schlägt sich an der Innenwand des Topfes eine Kalkkruste nieder, ebenso im Dampfkessel (*Kesselstein*). Dasselbe geschieht im Umkreise heißer Quellen, wo der Kalk in bräunlichen, geschichteten Krusten den Boden überzieht, z. B. der Karlsbader *Sprudelstein*. In das Sprudelwasser gehängte Gegenstände werden in kurzer Zeit umkrustet. Kommt das Wasser als Strahl empor und reißt dabei kleine Sandkörnchen mit, so scheidet sich während des wiederholten Auf- und Absteigens derselben Kalk in kugeligen („konzentrischen“) Schalen um jedes Korn ab, bis die Kügelchen zu Boden fallen und untereinander zu *Erbsenstein* verkitten (Abb. 30). Der Karlsbader Sprudel scheidet jährlich mehr als eine halbe Million kg kohlen-sauren Kalk aus.

35. **Ausscheidung auf lebenden Pflanzen.** Jede Pflanze braucht zu ihrer Ernährung Kohlendioxyd. Wasserpflanzen entnehmen ihren Bedarf dem Gasgehalte des Wassers und zwingen auch den gelösten doppelkohlensauren Kalk zur Abgabe von CO_2 . Infolgedessen setzt sich der Kalk auf der Oberfläche der Pflanzen nieder und überkrustet diese schließlich vollständig. Derartig „*inkrustierte*“ Algen, Blätter u. a. sammeln sich auf dem Grunde des

Gewässers, verkitten und bilden den porösen *Kalktuff*. Eine besonders feste Art desselben, der *Travertin*, wird bei Rom gewonnen und ist seit alter Zeit ein wichtiges Baumaterial zu Roms Prachtgebäuden (z. B. Peterskirche). Selbst so ungeheure Felsmassen wie das über 1000 m mächtige Wettersteingebirge mit der Zugspitze sind in der Hauptsache zusammengesetzt aus den röhrenförmigen Kalkkrusten von Algen (*Diplopora*).

Gesteine, die mit Hilfe von Pflanzen gebildet werden, heißen *phytogene* Gesteine (gr. *phytón* = Pflanze, *gennán* = erzeugen).

In den bis 80° heißen Springquellen des amerikanischen Nationalparks hat man lebende, kalkabscheidende Algen gefunden, und es ist deshalb nicht unwahrscheinlich, daß auch der Sprudelstein teilweise phytogen ist.

36. Kalk als Baustoff der Tiere. Untersuchen wir ein wenig ungeschlammte Kreide unter dem Mikroskop, so sehen wir zahlreiche zierliche Gebilde, die Schneckenhäusern ähneln. Es sind die Gehäuse von Urtieren, deren Leib, ein einfaches Schleimklümpchen, sich im Innern barg, deren Bewegungswerkzeuge, schleimige Fäden (Scheinfüße), durch Löcher des Gehäuses heraustraten. Die Tiere heißen deshalb *Lochträger* oder *Foraminiferen* (lat. *forámen* = Loch, *féro* = ich trage) (Abb. 7). Den Kalk zum Bau der Schale haben sie dem Meerwasser entnommen und auf unerklärte Weise wieder ausgeschieden. Nach dem Tode der Tiere sanken die leeren Wohnungen auf den Meeresboden.

Derselbe Vorgang spielt sich auch heute noch ab. Im Meeressande bei Neapel fand man z. B. in einem Gramm nicht weniger als 35000 Foraminiferenschalen. Der Schlamm der Tiefsee besteht bis zu einer Tiefe von 4000 m aus einem kreideartigen Gemisch ebensolcher Schalen. Im Atlantischen Ozean wiegt die kugelförmige *Globigerina* (Abb. 7) vor, in der *Schreibkreide* Rügens, die wir nun auch als Tiefseeschlamm ansehen müssen, die spitze *Textularia*. Ganze große Kalkgebirge entpuppen sich bei näherer Untersuchung als ähnliche Bildungen; z. B. findet man in den Voralpen einen Kalk, gespickt mit Riesen unter den Foraminiferengehäusen, den linsen- bis talergroßen (selten sogar 10 cm Durchmesser zeigenden) *Nummuliten* (lat. *nummus* = Münze) (Abb. 31). Derartige Felsmassen, die mit Hilfe tierischer Ausscheidungen entstanden sind, heißen *zoogene* Gesteine (gr. *zoon* = Tier). Diese bilden mit den phytogenen zusammen die Gruppe der *organogenen* Gesteine.

Weitere Baumeister aus dem Tierreiche sind die *Riffkorallen* (Korallenkalk) (139), die *Muscheln* (Muschelkalk) (143), die mit unseren Tintenfischen

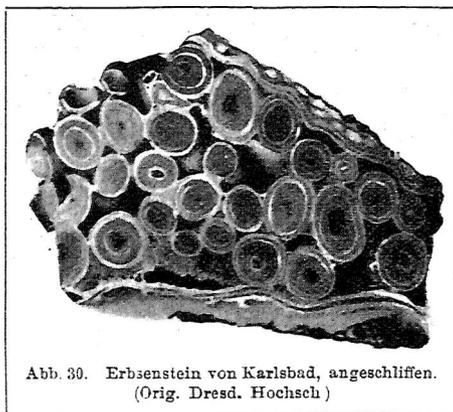


Abb. 30. Erbstein von Karlsbad, angeschliffen.
(Orig. Dresd. Hochsch.)



Abb. 31. Ein Nummulit, Gehäuse einer sehr großen Foraminifere, innen in Kammern geteilt.

verwandten beschalten *Kopffüßer* (139) und die *Armfüßer* (muschelähnlich gebaute Tiere, deren Kiemen auf einem zierlichen Kalkgerüst aufruhend) (138). Bei weitem der größte Teil der Kalklager verdankt der Vermittlung von Tieren seine Entstehung, und daß das Meer so geringe Mengen von Kalk in Lösung hält, liegt eben an dem großen Bedarf der kalkverbrauchenden Organismen.¹⁾

37. **Kalksteinarten ohne erkennbare organische Reste.** Es gibt zahlreiche Kalksteinablagerungen, die uns keine Spur von Foraminiferenschalen, Korallenformen usw. zeigen, und die doch, nach ihrer ganzen Lagerungsweise und nach vereinzelt Versteinerungen zu urteilen, auf dem Boden eines Meeres mit Hilfe von Organismen entstanden sein müssen. Wir können in diesem Falle nur annehmen, daß *spätere Vorgänge* im fertigen Gestein die Spuren der Baumeister vernichtet haben (104). Hierher gehören folgende *Abarten*:

a) *Dichter Kalkstein*, die gemeine Abart, die in der Regel für den Kalkofen Verwendung findet.

b) Äußerst feinkörniger, gelblicher *Plattenkalk* (*Lithographenschiefer*). Die Platten, die die Brüche von Solnhofen im Jura liefern, bilden ein wertvolles Material für den Steindruck.

c) *Marmor*, zuckerkörnig, kristallinisch, d. h. aus kleinen, unausgebildeten Kristallen bestehend. Der berühmte Statuenmarmor von Paros, Naxos, Carrara. Zwischen dichtem Kalkstein und kristallinischem Marmor gibt es viele Zwischenstufen, und der Bildhauer faßt den Begriff Marmor in der Regel weiter als der Geolog. So ist z. B. weder der Kelheimer „Marmor“, das Material für die Münchener Kunstbauten, noch der schwarze belgische durchweg kristallin.

d) *Breccienmarmor*; eigentlich feinkörniger oder dichter Kalkstein, der in zahlreiche scharfkantige Stücke zerbrochen und nachträglich wieder verkittet worden ist. Er findet wegen seines bunten Aussehens vielfach Verwendung als Zierstein.

38. **Kristallisierter Kalkstein.** Wo Kalk auf Klüften auskristallisiert ist, erscheint er meist wasserklar oder milchig trübe. Die glatten Flächen lassen sich mit einem Kupferpfennig, leichter mit einem Messer ritzen. Der Formenreichtum ist überaus groß. Wir nennen nur die wichtigsten Kristalle:

1. *Sechseckige Säule* (hexagonales Prisma, gr. hex = 6, gonía = die Winkel). (Abb. 32.)

2. *Rhomboëder*: 6 Rhomben, drei nach oben, drei nach unten, in der Mitte eine auf- und absteigende Kante. Das „Grundrhomboëder“ des Kalkes weist

1) Daß sich auf dem Meeresgrunde auch Kalklager ohne Vermittlung von Organismen, lediglich durch chemische Umsetzungen bilden können, ist jedoch sicher gestellt. Vielleicht gehören die Rogensteine, Oolithe, hierzu.

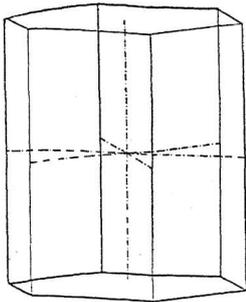


Abb. 32. Einfaches hexagonales Prisma.

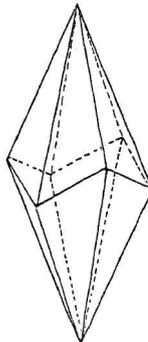


Abb. 33. Skalenoeder.

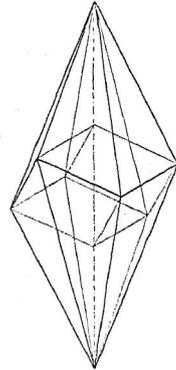


Abb. 34. Skalenoeder und Rhomboeder mit gemeinsamer Mittelkante.

einen Winkel von 105° auf (Abb. 34). Parallel zu dessen Seiten lassen sich alle Kristalle leicht mit Messer oder Hammer spalten. Da der Bergmann leicht spaltbare Mineralien als „spätig“ bezeichnet, heißt kristallisierter Kalkstein auch *Kalkspat* (*Kalzit*, *Calcit*) (Abb. 35).

3. *Skalenoeder* (gr. *skalénós* = ungleichseitig), zwei spitze Pyramiden, gebildet von sechs ungleichseitigen Dreiecken, stoßen in genau derselben auf- und absteigenden Mittelkante zusammen wie das Rhomboeder. (Abb. 33 und 34.)

Die glasklaren Spaltungsstücke von Island (Abb. 35) zeigen uns eine eigentümliche Erscheinung: ein Punkt, durch ein derartiges Stück betrachtet, ist doppelt zu sehen. Der Lichtstrahl, der in den Kalkspat eintritt, wird nämlich in zwei zerlegt, die in verschiedener Richtung weiterlaufen. Diese „*Doppelbrechung*“ ist im Mineralreich weit verbreitet, sie läßt sich aber nirgends so gut beobachten wie beim „*Isländischen Doppelspat*“.

Unter dem Namen *Aragonit* kommt ein ebenfalls farbloses bis gelbliches

Mineral vor, das chemisch reines Kalziumkarbonat ist, aber gänzlich verschiedene Kristalle bildet, nämlich Prismen mit rhombischem Querschnitt (Abb. 36), gewöhnlich seitlich mit noch zwei weiteren Flächen, oben mit einem wagerecht nach vorn gerichteten „*Längsprisma*“

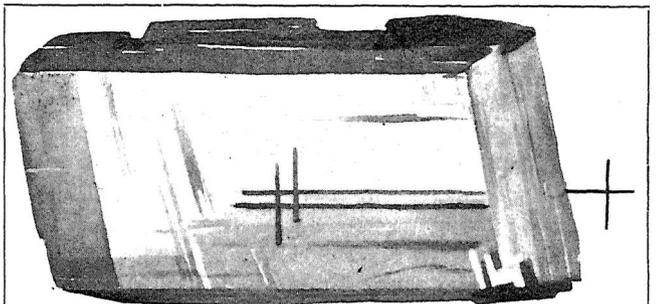


Abb. 35. Rhomboedrisches Spaltungsstück von Isländischem Doppelspat, die Doppelbrechung zeigend. (Orig. Dresd. Hochschule.)

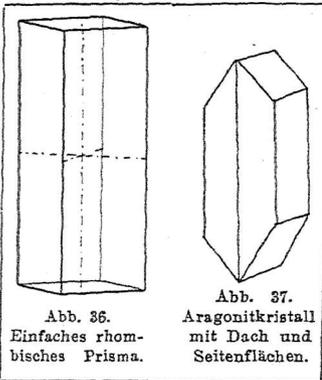


Abb. 36.
Einfaches rhombisches Prisma.

Abb. 37.
Aragonitkristall mit Dach und Seitenflächen.

(Abb. 37). Wenn ein und dieselbe chemische Substanz in zwei wesentlich verschiedenen Gruppen von Kristallformen auftritt, so nennt man sie *zweigestaltig* oder *dimorph* (gr. dis, di = doppelt, morphē = Gestalt). Durch Versuche hat man festgestellt, daß sich das Kalziumkarbonat aus reiner, kalter Lösung vorzugsweise als Kalkspat, aus heißer Lösung (über 40°), sowie in Gegenwart anderer größerer Salzengen als Aragonit ausscheidet. Aus diesem Grunde rechnen wir auch den Karlsbader Sprudelstein und den Erbsenstein unter die Abarten des Aragonites. Am Erzberg bei Eisenerz in Steiermark blühen aus dem verwitternden kalkhaltigen Eisenspat zierliche weiße Bäumchen aus kohlensaurem Kalk (Aragonit), die man als *Eisenblüte* bezeichnet. Die faserige Schicht der Muschel- und Schneckenschalen, das Rindenskelett der Korallen bestehen ebenfalls aus Aragonit, die Foraminiferengehäuse und Seeigelpanzer aus Kalzit.

39. Verwandte des Kalkspats. Es gibt eine Reihe von Mineralien, die nach ihrer chemischen Zusammensetzung und Kristallform dem Kalkspat überaus ähnlich sind. Sie sind sämtlich Karbonate und kristallisieren in Rhomboedern. Diese Übereinstimmung der Form bei ähnlicher chemischer Zusammensetzung heißt *Gleichgestaltigkeit* oder *Isomorphismus* (gr. isos = gleich). Folgende Stoffe bilden eine *isomorphe Reihe*:

1. *Magnesitspat*, $MgCO_3$; in Rhomboedern, die in Winkelgröße denen des Kalkspats nahezu gleichen, sich aber durch größere Härte und Dichte unterscheiden. Lichtgelbe bis bräunliche, derbe Massen bilden bei Veitsch in Steiermark eine großartige Lagerstätte, die zur Gewinnung feuerfesten „Sintermagnesits“ ausgebeutet wird.

2. *Dolomit* (nach dem Franzosen Dolomieu genannt), ein Doppelsalz aus den beiden vorigen: $CaMg(CO_3)_2$, ebenfalls in Rhomboedern oder derben Massen, die sich nur in heißer Salzsäure unter Brausen auflösen und sich dadurch vom Kalzit unterscheiden. An Korallenriffen hat man beobachtet, daß sich der kohlen-saure Kalk derselben allmählich, namentlich in größerer Tiefe, in Dolomit umwandeln kann. Solchen nachträglichen Umwandlungen verdankt vielleicht ein großer Teil der dolomitischen Gesteine seinen Ursprung. Möglicherweise spielen dabei gewisse Algen eine Rolle. Die gewaltigen Felszacken der Südtiroler „Dolomiten“ (Abb. 38) enthalten viel mehr Kalk, als obiger Formel entsprechen würde; sie sind also Gemische von gewöhnlichem Kalziumkarbonat und Dolomit. Da sich ersteres im Wasser schneller löst als letzterer, so werden die Felsmassen nach und nach porös und magnesia-reicher.

3. *Braunspat* ist ein Dolomit, in dem ein Teil des Magnesiums durch Eisen und Mangan ersetzt wird. Er bildet den Übergang zum

4. *Eisenspat*, $FeCO_3$, häufig in Gruppen von gelben Rhomboedern. Er ver-rät seinen Eisengehalt durch höheres Gewicht, die Kohlensäure durch Aufbrausen

mit Salzsäure. Als treffliches Eisenerz wird er bergmännisch abgebaut, z. B. in Steiermark am Erzberg bei Eisenerz und in den reichen Gruben des Siegener Landes (127).

5. Zinkspat (ZnCO_3), ein wichtiges Zinkerz, z. B. in Oberschlesien (Tarnowitz) gewonnen (128).

6. Mangan-
spat (MnCO_3), rosenrote, durchscheinende Massen; Freiberg.

Wie der Kalkspat, so hat auch der rhombische Säulen bildende Aragonit verschiedene Verwandte unter den Karbonaten, die mit ihm isomorph sind, z. B.:

Strontianit (SrCO_3), oft in nadelförmigen Kristallen und in Nadelbüscheln auftretend. Es enthält das Element Strontium, das nach einem Fundorte des Minerals (Strontian in Schottland) seinen Namen hat. Der Strontianit wird bei der Zuckergewinnung aus Melasse verwendet.

Aufgaben: Laß Leitungswasser auf einer Glasplatte verdunsten und beurteile nach der Menge des Niederschlags die Härte des Wassers. Warum gedeihen Krebse und Muscheln besser in hartem Wasser? Wie kann man die graue Kruste im Kochtopf auf ihre chemische Natur untersuchen? An welchen Bauwerken deiner Heimat ist weißer, farbiger, Breccienmarmor verwendet? Schütte Kalkwasser und Selterswasser zusammen und beobachte den entstehenden Niederschlag und später die Wiederauflösung desselben. Untersuche mit Hilfe von Salzsäure, ob der Dornstein vom Gradierwerk auch etwas kohlen-sauren Kalk enthält. Wie unterscheidest du gewöhnliche Spaltungsstücke von Kalkspat und Marienglas?

Quarz.

40. Der Kieselstein und seine Härte. Unter den Geröllen und Sandkörnern des Flusses und der Kiesgrube überwiegen bei weitem solche von weißer oder schwarzer Farbe. Beides ist Kieselstein oder Quarz; die schwarze Abart ist



Abb. 33. Ausläufer des Dachsteingebirges. An massigem dolomitischen Korallenriff lagert bei B wohlgeschichteter „Dachsteinkalk“. (Nach Simony.)

der durch Kohleteilchen gefärbte *Kieselschiefer*, von den Goldarbeitern *Pro-bierstein* genannt. Das überaus reichliche Auftreten der Quarze in den Flußablagerungen ist in erster Linie auf die geringe mechanische Abnutzbarkeit derselben, ihre *große Härte* zurückzuführen. Ein Quarzsplitter ritzt sowohl die Fensterscheibe als das Stahlmesser. Schlagen wir einen Kieselstein mit der Stahlklinge, so werden Metallteilchen losgerissen und durch die Reibung zum Glühen gebracht: der Stahl gibt Funken am Quarz. Kein anderes häufig vorkommendes Mineral zeigt solche Härte. Trotzdem kann man Quarzstücke mit dem Hammer leicht zerschlagen: seine Härte ist gepaart mit *Sprödigkeit*. Die Bruchstücke zeigen oft muschelförmige Aushöhlungen.

41. **Chemie und Löslichkeit.** Chemisch ist Quarz das Oxyd des Siliziums¹⁾ (Si), die wasserfreie *Kieselsäure* oder *Kieselerde*, SiO_2 . Schon das Vorkommen der Rollkiesel beweist, daß die Kieselerde im Wasser so gut wie *unlöslich* ist; nur die Flußsäure vermag den Quarz zu lösen. Aber es gibt auch eine lösliche Form desselben, die man auf Umwegen herstellen kann. So ist z. B. das flüssige Wasserglas eine sirupdicke Lösung von kieselsaurem Kalium oder Natrium. Übergießt man dieses mit Schwefelsäure, so entsteht schwefelsaures Kalium oder Natrium, und die schwächere Kieselsäure wird gezwungen, sich als eine gallertähnliche Masse auszuscheiden. Genauere Untersuchung lehrt, daß diese Kieselgallerte chemisch gebundenes Wasser enthält und sich als eine Verbindung von der Zusammensetzung $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ darstellt. Diese *wasserhaltige Kieselsäure aber ist in Wasser schwach löslich* (in 25000 Teilen Wasser etwa 4 Teile Kieselsäure) und in vielen Gewässern enthalten.

42. **Ausscheidung von Quarz aus heißer Lösung.** Ähnlich wie Kalk ist auch die Kieselsäure in vielen *heißen Quellen* gelöst enthalten und scheidet sich an der Erdoberfläche in Form von Krusten, Decken, schneeweißen oder gelblichen Terrassen (Abb. 39) als *Kieselsinter* ab. Hierher gehört z. B. der berühmte *Geysir auf Island*. Ein flacher Sinterkegel umgibt dort ein etwa 2 m tiefes und 18 m breites Becken, das in seiner Mitte durch einen natürlichen Schacht mit unbekanntem Tiefen in Verbindung steht. Das klare, grünlich schimmernde Wasser läuft für gewöhnlich über den Rand des Beckens und bezeichnet seinen weiteren Weg durch ein weißes Sinterbett. Alle 2—3 Wochen springt das Wasser in einem 3 m dicken Strahle gleich einer gewaltigen Fontäne über Haushöhe empor, weil es in der Tiefe weit über 100° erhitzt war und nun plötzlich in Dampfform sich befreit, den darüber lastenden kühleren „Wasserpfropfen“ mit sich reißen.²⁾ (Abb. 40.)

1) Vom lat. *silex* = Kieselstein.

2) Die Ausbrüche werden jetzt immer seltener, und man muß zu einer künstlichen Nachhilfe seine Zuflucht nehmen: Man schüttet Seife ins Wasser; dadurch wird das vorzeitige Entweichen einzelner Dampfblasen verhindert und eine größere Dampfspannung erzielt. Der benachbarte, früher ebenfalls berühmte *Strokr* ist durch eingeworfene Steine und Rasenstücke jetzt völlig verstopft.

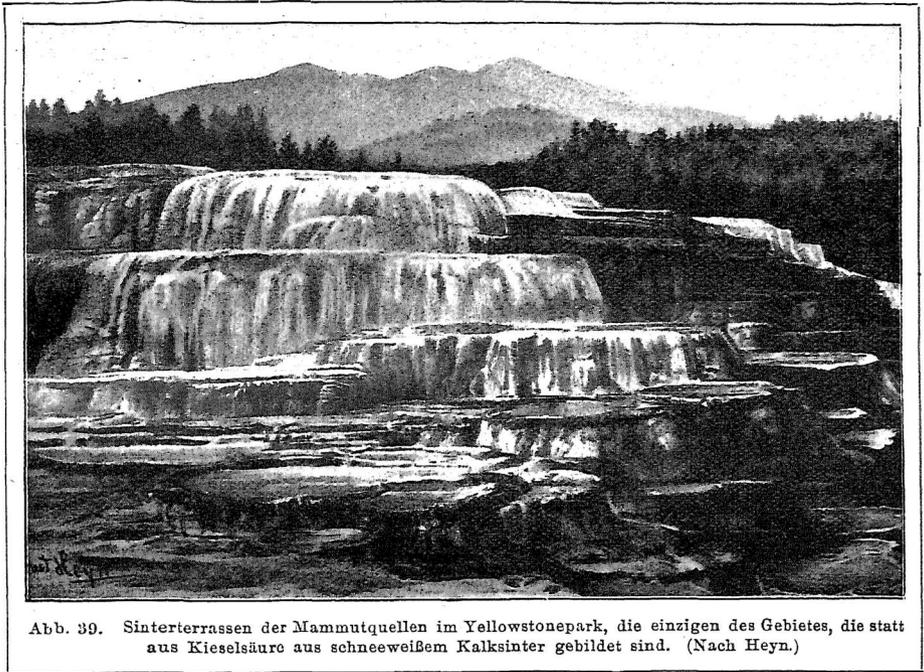


Abb. 39. Sinterterrassen der Mammutquellen im Yellowstonepark, die einzigen des Gebietes, die statt aus Kieselsäure aus schneeweißem Kalksinter gebildet sind. (Nach Heyn.)

Man nennt solche Quellen *intermittierende Springquellen* (lat. *intermittēre* = unterbrechen) oder nach dem isländischen Vorkommen *Geiser*¹). Nicht aller Kiesel-sinter ist ein rein chemisches Sediment; an den schönen Sinterterrassen im nord-amerikanischen Nationalpark z. B. ist ein Teil der Gesteinsmassen unter Mitwirkung von lebenden Algen und Moosen aus dem heißen Geiserwasser abgeschieden worden.

43. Ausscheidung aus kalter Lösung. An heißen Quellen erfolgt die Ausscheidung der Kieselsäure ziemlich reichlich und rasch; dagegen geht sie außerordentlich langsam vor sich, wenn das Wasser sich in gewöhnlicher Temperatur befindet. In manchen Gesteinen befinden sich als Einschlüsse rundliche Kieselmassen von Nuß-, Faust- oder Kopfgröße, die sich als Fremdkörper verhältnismäßig leicht herauslösen lassen. Sägt man sie entzwei, so erscheinen sie im Innern bisweilen blaugrau durchscheinend, häufiger lagenweise wie Abb. 41 verschieden gefärbt, in der Mitte manchmal hohl und mit feinen Kristallspitzen besetzt. Die durchscheinenden Schichten zeigen unter dem Mikroskop eine *feinstrahlige* Zusammensetzung. Man nennt diese Abart der Kieselsäure *Chalzedon*. Über die Entstehung solcher Knollen sind die Meinungen geteilt. Sicher sind sie nachträgliche Ausfüllungen von Hohl-

1) Seit 1909 wirft der Namedysprudel bei Andernach alle 4 Stunden etwa 6 Minuten lang gewaltige Wassermassen 40 m hoch (Kohlensäuredruck!).

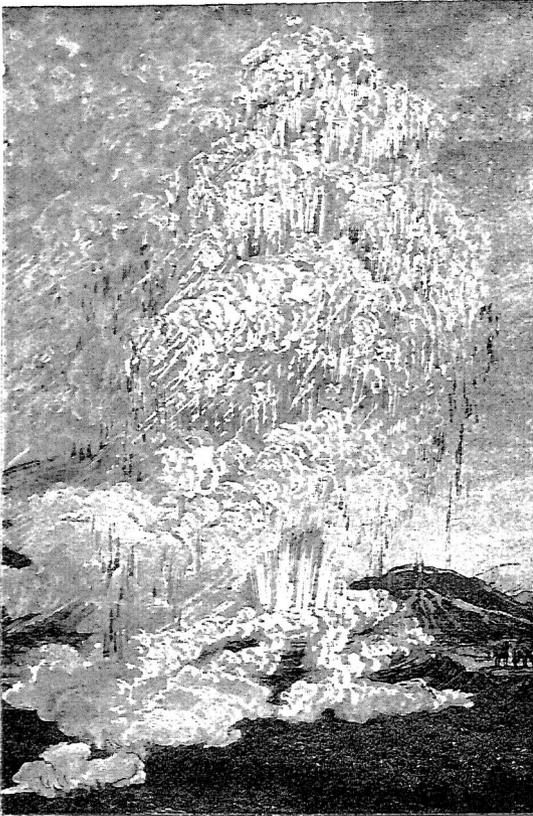


Abb 40. Ausbruch des Großen Geysir auf Island.

räumen, sogenannte *Mandeln*. Früher nahm man an, daß eine kieselsäurehaltige Lösung auf feinen Spalten in die Hohlräume eingedrungen sei, und daß sich die Kieselsäure Schicht auf Schicht — gleichsam als Tapete — an den Wänden abgesetzt habe. Eigentümliche Unterbrechungen im Schichtenbau, wie sie Abb. 41 zeigt, deutete man als Einlauföffnungen. Neuere Untersuchungen (von Liesegang) haben eine andere Entstehung wahrscheinlich gemacht: Die Kieselsäure füllte als Gallert (Gelatine, „Gel“) den ganzen Hohlraum und wurde unter gleichzeitiger Zusammenziehung allmählich fest. Die Bänderung ist eine davon unabhängige Erscheinung; sie verdankt ihre Entstehung einem späteren Eindringen farbstoffbildender Lösung.

Man kann durch Versuche zeigen, daß solche Lösungen von der Oberfläche her allmählich nach dem Innern der Gallert vordringen und dabei feste Farbstoffe (Eisenoxyd, Eisenhydroxyd) ruckweise („rhythmisch“) absetzen.

Nach der Farbe der Bänderung unterscheidet man verschiedene Abarten der Chalzedone. Ist die Mandel gleichförmig fleischrot und durchscheinend, so heißt die Masse *Karneol* (lat. caro, carnis = Fleisch); braun gefärbt wird sie *Sarder* genannt. Wechselnde Lagen von weißem und schwarzem Chalzedon bilden den *Onyx* (gr. onyx = der [schmutzige] Fingernagel), aus dem schon die Alten zierliche Kunstwerke, Siegelsteine u. a. herstellten, indem sie die eine Schicht als Untergrund benutzten und in die andere den Kopf usw. entweder erhaben oder vertieft schnitten (Gemmen). In der Technik werden alle die mehrfarbigen Abarten gewöhnlich unter dem Namen *Achat* (Bandachat, Festungsachat, Trümmerachat [Abb. 42]) zusammengefaßt, obgleich dieser Name eigentlich schon ein *Gemenge* von feinstrahligem mit kristallinischem Quarz bezeichnet. Da die Chalzedonschichten des Achats *feinporös* sind, ver-

mögen sie Farbstoffe aufzusaugen, und die meisten käuflichen Achate, wie sie z. B. in Idar und Oberstein an der Nahe verarbeitet werden, besitzen künstliche Färbung. (Schwarz erzielt man durch Einlegen in Zuckerlösung und dann in Schwefelsäure, Rot durch Behandeln mit Eisenvitriol und Ausglühen. Das Rohmaterial stammt meist aus Uruguay.)

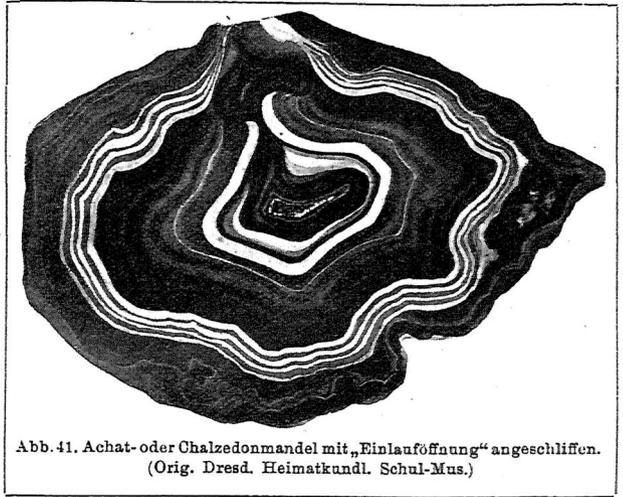


Abb. 41. Achat- oder Chalzedonmandel mit „Einlauföffnung“ angeschliffen. (Orig. Dresd. Heimatkundl. Schul-Mus.)

44. Kristallbildung. Verlangsamt sich der Ausscheidungsprozeß noch mehr, so setzt sich in den oben besprochenen Hohlräumen die Kieselsäure nicht mehr als Gallert ab, sondern es wachsen scharf ausgebildete Kristalle frei in das ringsum abgeschlossene Wasser hinein, und anstatt der Mandeln entstehen hohle *Quarzdrusen* (Abb. 43).

Ein ähnlicher Ausfüllungsvorgang spielt sich auf den zahlreichen Wunden der Felsmassen, den *Rissen, Spalten, Klüften* ab. Von beiden Wänden der Klüfte wachsen die Kristalle einander entgegen, bis sie schließlich zusammentreffen und in einer verzahnten „*Zuwachsnaht*“ die Wunde völlig verheilt.

Wir werden später sehen, daß Quarzkristalle sich auch aus geschmolzenen Gesteinsmassen bilden können; doch scheint der Absatz aus Wasser zu überwiegen.

Die *Form* der Quarzkristalle zeigt einige Verwandtschaft mit denen des Kalkspats (38). Weitaus überwiegend tritt die *hexagonale Säule* in Verbindung mit der *hexagonalen Pyramide* auf (Abb. 44). Doch sind die natürlichen Kristalle fast nie modellscharf; oft sind nur drei der Säulenflächen glän-



Abb. 42. Band- und Trümmerachat, oben längs einer Klüft verschobene Bänder, unten Breccienstruktur. (Orig. Dresd. Heimatkundl. Schul-Mus.)

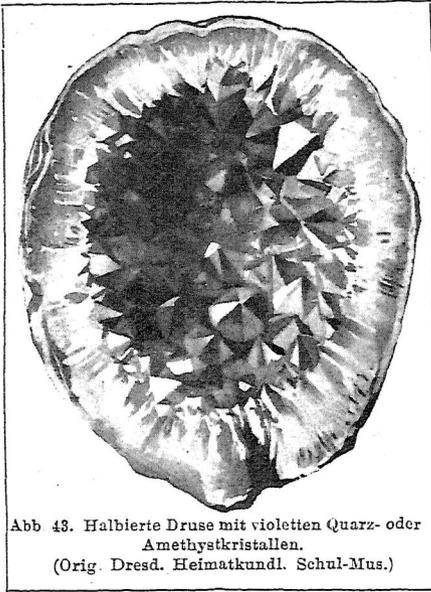


Abb. 43. Halbierte Druse mit violetten Quarz- oder Amethystkristallen.
(Orig. Dresd. Heimatkundl. Schul-Mus.)

sie auch in das *Innere der Pflanzen* und lagert sich dort in feinen Nadeln wieder ab. Die scharf schneidenden Ränder mancher Gräser, die scheuernde Wirkung der Schachtelhalme („Scheuergras“) sind auf starken Kieselsäuregehalt zurückzuführen. Die niedrigsten einzelligen Pflanzen, die *Spaltalgen* oder *Diatomeen* (Abb. 46), scheiden oft zierliche Kieselpanzer aus, die wie Schachteln mit Deckel oder wie Schiffchen aussehen. Da diese Pflanzen im

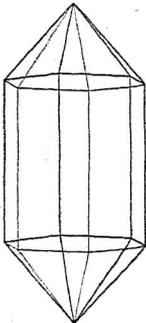


Abb. 44. Verbindung von hexagonalem Prisma mit hexagonaler Pyramide.

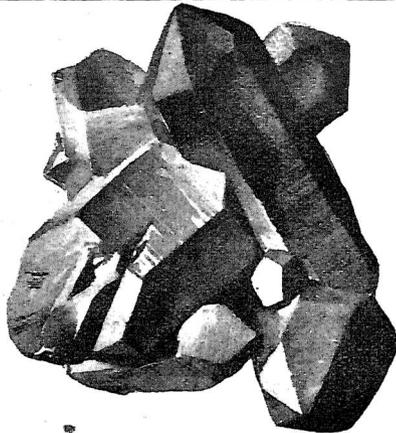


Abb. 45. Gruppe von braun gefärbten Quarzkristallen mit gestreiften Flächen.
(Orig. Dresd. Hochsch.)

zund, drei dagegen fein gestreift; von den Pyramidenflächen sind drei groß und drei klein, und kleine Vierecke schieben sich zwischen Säule und Spitzen ein (Abb. 45, vgl. auch Abschn. 164 u. 168!).

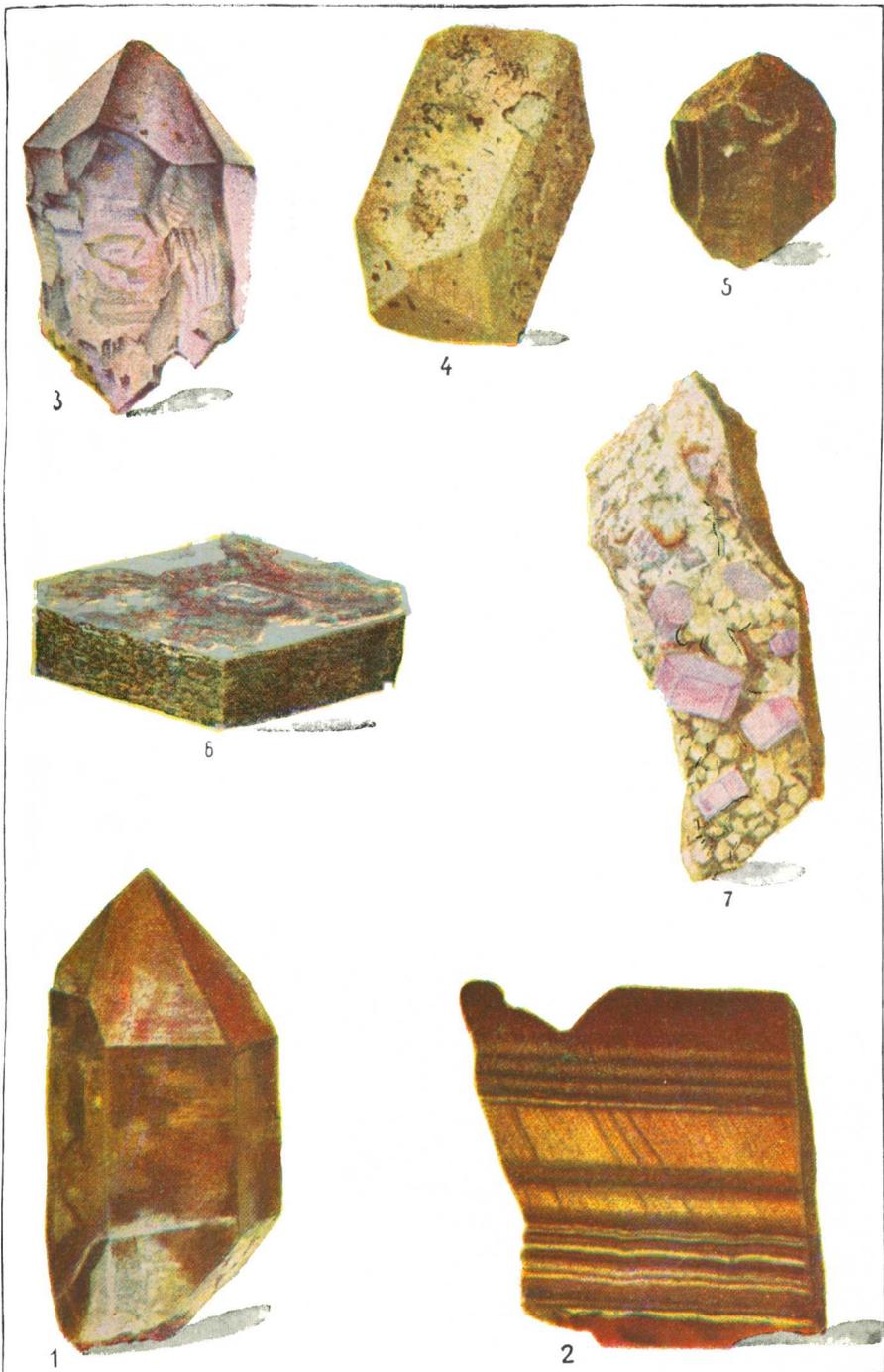
Wasserklare Kristalle, die in den Alpen bis zu Zentnerschwere vorkommen, heißen *Bergkristall*, braune *Rauchquarz*, schwarze *Morion*, veilchenblaue (gewöhnlich in kürzeren Säulen ausgebildet) *Amethyst* (Abb. 43). Alle diese Abarten dienen als Halbedelsteine zu Schmucksachen. Der *Eisenkiesel* ist eine kristallisierte Quarzart, die durch Eisenoxyd rot und undurchsichtig geworden ist.

45. Kieselsäure in den Organismen.

Da die Kieselsäure in jedem Wasser in geringen Mengen enthalten ist, gelangt in großen Mengen enthalten ist, gelangt und lagert sich dort in feinen Nadeln

Süßwasser zu Milliarden leben, fällt beständig ein feiner Regen solcher Gehäuse auf den Boden des Gewässers, bis sie sich zu mächtigen

Schichten eines weißen Pulvers anhäufen. So entsteht die *Kieselgur*, die in der Technik vielfach Verwendung findet (Poliermittel,



Gesteinbildende Mineralien.

1. Quarz, Zinnwald im Erzgebirge. 2. Tigerauge, angeschliffen, Südafrika. 3. Amethyst, Nord-Carolina. 4. Orthoklas, nach der schrägen Achse gestreckter Kristall, Fichtelgebirge. 5. Augit, Wolfsberg in Böhmen. 6. Muskovit, Norwegen. 7. Apatit, Greifenstein in Sachsen.

Dynamit, Formsand, Wärmeschutz). Da man sie in Zeiten der Not bisweilen ins Brot verbacken hat, heißt sie auch *Bergmehl*. Unter Druck entsteht aus Kieselgur eine poröse, auf dem Wasser schwimmende schiefrige Masse, der *Polierschiefer*. In beiden genannten Abarten zeigt die Kieselerde keinerlei Andeutung von Kristallbildung; sie ist *gestaltlos* oder *amorph* (gr. a = ohne, morphē = Gestalt). Da sich aber solche von Organismen ausgeschiedene Kieselerde leichter löst als andere, so verliert sie oft ihre ursprüngliche Schalengestalt und kristallisiert nachträglich um. Man bezeichnet die halb-umkristallisierten und verhärteten Abarten als *Tripel* (nach dem Hauptfundorte Tripolis). Noch mehr umkristallisiert und schwer vom Kieselsinter zu unterscheiden ist der *Süßwasserquarzit*.

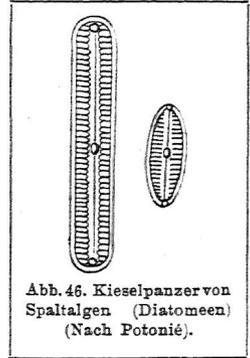


Abb. 46. Kieselpanzern von Spaltalgen (Diatomeen) (Nach Potonié).

Die erwähnte leichte Löslichkeit der „organischen Kieselsäure“ hat noch eine andere Folge. Dieselbe *wandert* mit dem Wasser in porösen Sedimenten, z. B. in der Schreibkreide, umher, sammelt sich an manchen Stellen, ballt sich zu Gallertklumpen, die nachträglich verhärteten. Man nennt solche klumpige, knollige Zusammenballungen im allgemeinen *Konkretionen* (lat. concretio). Oft ist die Ursache der Ausscheidung irgendein Orga-



Abb. 47. Feuersteinklumpen in der Kreide bei Saßnitz, nat. Größe etwa 50 cm. (Phot. v. Verf.)

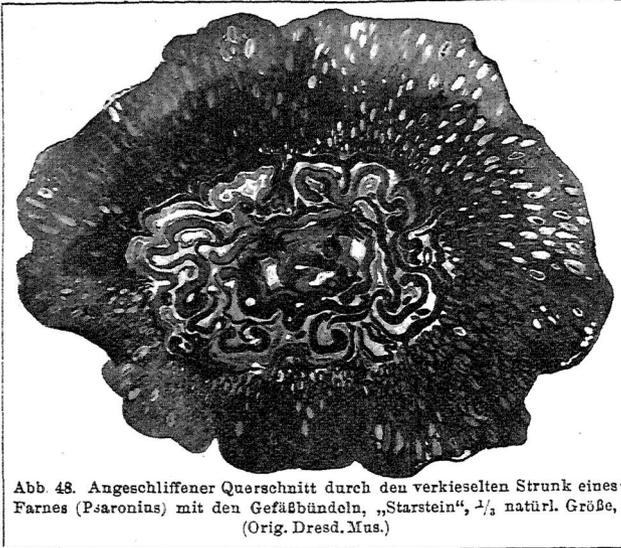


Abb. 48. Angeschliffener Querschnitt durch den verkieselten Strunk eines Farnes (Psaronius) mit den Gefäßbündeln, „Starstein“, $\frac{1}{2}$ natürl. Größe, (Orig. Dresd. Mus.)

nismus, ein Fisch, Seeigel u. a., der dann völlig von Kieselsäure durchtränkt und wohl auch noch umhüllt wird. Hierher gehören die *Feuersteine*, die in der Kreide Rügens parallele Lager bilden. Ihre merkwürdigen Formen verraten oft auf deutlichste die Entstehung aus Kieselgallert (Abb. 47), doch sind sie meist nachträglich ein wenig *kristallinisch* geworden.

den. Auch die weiße Rinde der Feuersteine besteht aus Kieselsäure. Reste von Spaltalgen, Nadeln von Schwämmen, Panzer von Urtieren sind darin zu erkennen, und verkieselte Seeigel, Korallen, Donnerkeile (aus Tintenfischen stammend) (Abb. 214) findet man oft beim Zerschlagen der Steine. Als vom Eise herbeigebrachtes „nordisches Geschiebe“ spielt der Feuerstein im Lehme Norddeutschlands eine große Rolle, und schon unsere Urahnen wußten ihn als Rohstoff zu Steinbeilen, Messern, Schabern zu verwerten.

Bisweilen ist die wandernde gelöste Kieselsäure in das Innere absterbender Baumstämme gedrungen, und diese sind unter Erhaltung aller Einzelheiten der Holzstruktur vollständig *verkieselt* oder „*versteinert*“, z. B. die verkieselten Nadelhölzer und Farne im sächsischen Kohlenbecken (Chemnitz) (Abb. 48). Zu den aus Gallert entstandenen Abarten gehört auch der *Opal*, der sich durch einen schwankenden Wassergehalt, völlig amorphen Aufbau und muscheligen Bruch auszeichnet. Er ist in heißer Kalilauge löslich und steht in vieler Beziehung dem Feuerstein nahe. Das lebhaftes Farbenspiel des Edelopals ist an die zahlreichen feinen Trockenrisse geknüpft.

46. Übersicht der Quarz-Abarten. Man hat vom Quarz eine große Anzahl von Abarten oder *Varietäten* unterschieden, von denen wir die wichtigsten nach ihrer Entstehungsweise vorgeführt haben. Da dieses Mineral bei den Sammlern eine große Rolle spielt, geben wir noch eine kurze Übersicht nach anderen Gesichtspunkten und unter Einfügung einiger weiterer Namen

1. Kristallisiert:

- a) Bergkristall, wasserklar;
- b) Rauchquarz, braun;

- c) Morion, sammetschwarz;
 - d) Amethyst, violett (Tafel I, 3);
 - e) Eisenkiesel, rot oder gelb, undurchsichtig;
 - f) Gemeiner Quarz, trübe, wenig durchsichtig (Tafel I, 1).
2. Kristallinisch, massig:
- a) Quarzfels, Quarzit; große Felsmassen bildend, z. B. den 140 km langen „Pfahl“ in Bayern;
 - b) Milchquarz, durch Luftblasen weiß;
 - e) Rosenquarz, rosa.
3. Feinstkörnig:
- a) Jaspis, gelb, rot, braun, muschelig brechend;
 - b) Hornstein, splittrig brechend (versteinertes Holz);
 - c) Chrysopras, durch Nickelverbindung grün gefärbt.
4. Feinststrahlig, durchscheinend:
- a) Chalzedon, undeutlich lagenförmig, traubig, nierenförmig, milchig trübe;
 - b) Karneol, fleischrot;
 - c) Sarder, braun;
 - d) Onyx, schwarze und weiße Lagen;
 - e) Sardonyx, braune und weiße Lagen;
 - f) Karneolonyx, rote und weiße Lagen;
 - g) Heliotrop, lauchgrün mit roten Flecken.
5. Mit fremden Mineraleinlagerungen:
- a) Katzenauge, mit Asbestnadeln, grünlich schillernd;
 - b) Tigerauge, durch Eisenhydroxyd zimmetbraun, faserig; aus einer Hornblendearart hervorgegangen (Tafel I, 2);
 - c) Avanturin, mit rotgoldigen Glimmer- oder Eisenglanzschüppchen; nachgeahmt durch Glas mit Kupferstäubchen;
 - d) Kieselschiefer, mit Kohlenstäubchen.
6. Gemenge verschiedener Arten, in Lagen wechselnd (Achat):
- a) Bandachat;
 - b) Festungsachat;
 - c) Trümmerachat.
7. Mit wechselndem Wassergehalt, in heißer Kalilauge löslich:
- a) Gemeiner Opal, muschelig brechend, aber stets dicht oder amorph;
 - b) Edler Opal, mit zahlreichen Sprüngen und schönem Farbenspiel, Schmuckstein; Ungarn, Australien (Tafel II, 8);
 - c) Feueropal, gelbrötlich, Schmuckstein: Mexiko;
 - d) Kieselsinter;
 - e) Diatomeenerde, Kieselgur, Polierschiefer;
 - f) Feuerstein.

Aufgaben: Suche verschiedenfarbige Quarze aus den Geröllen und Geschieben. Wie ist es zu erklären, daß manche Kieselschiefer von weißen Quarzadern durchzogen sind? Suche Versteinerungen in Feuersteingeschieben. Versuche, aus Feuer-

stein ein Beil usw. zu schlagen, und beobachte dabei die treffliche Bearbeitbarkeit und die messerscharfen Kanten. In welchem billigeren und weicheren Material werden bei uns oft Gemmen gearbeitet? Lege wasserklare Stücke von Quarz, Kalk, Gips nebeneinander und gib die Erkennungszeichen an. Halte einen Bergkristall und ein Stück Kristallglas an die Wange; ersterer fühlt sich viel kälter an, weil er die Wärme besser leitet als Glas. Nachahmung der Achatstruktur nach Liesegang: Man lasse 5 g Gelatine in 100 ccm Wasser quellen, bringe sie durch Erwärmung auf etwa 50° zur Lösung und setze hierzu 3 Tropfen einer 10%igen Ammoniumbichromatlösung und 5 Tropfen einer 5%igen Zitronensäurelösung. Je 20 ccm hiervon gieße man auf eine 13×18 cm große Glasplatte und breite sie dann gleichmäßig aus. Nach einer Viertelstunde zeichne man mit einer 25%igen Silbernitratlösung (Glasstab!) die Umrißlinie eines Festungsachates darauf. Dann bringe man die Platte an einen kühlen, dunklen Ort und beobachte die streifenweise Ausscheidung von Sberchromat.

Phosphorit.

47. Zu den Stoffen, die im Meerwasser in geringer Menge gelöst vorkommen, gehört auch der *phosphorsaure Kalk* $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Er wird von manchen Seepflanzen und -tieren aufgenommen und im Innern aufgespeichert. So enthält Seetang (Fucus) 1%; in manchen Krebsen — namentlich in der Schale — sind 6 bis 17% Kalziumphosphat nachgewiesen worden. Fallen die abgestorbenen Reste solcher Lebewesen in den Schlamm des Meeresgrundes, so schlägt sich auf ihnen noch mehr Phosphat nieder; es entstehen Knollen, „Konkretionen“, die in ihrem Innern noch die Form des Lebewesens erkennen lassen. Erhärtet später der Meeresschlamm zu Stein, so entsteht ein Sedimentgestein mit *lagenweise auftretenden Knollen* von sogenanntem „Phosphorit“. So die phosphoritführenden Schiefer des Vogtlandes, die Kalke an der Lahn und in der spanischen Provinz Estremadura.

Wie das Meer so enthält auch jedes Fluß- und Grundwasser Spuren gelösten Kalziumphosphats. Dasselbe gelangt also auch in die Landpflanzen und durch diese in den Leib der Tiere. Dort spielt es eine überaus wichtige Rolle. *Keine lebende Zelle kann ohne Phosphorsäure arbeiten*, und in den tierischen Knochen ist phosphorsaurer Kalk der Hauptbestandteil. Häufen sich in einer Gegend *Tierknochen* zu einer größeren Menge an, so entsteht ebenfalls eine Phosphoritlagerstätte. So besteht das berühmte reiche Lager in Südkarolina fast ganz aus Knochen. Alle Phosphoritlager werden ausgebeutet, um das wichtige Düngemittel zu gewinnen. Da Phosphorit nicht löslich ist, wird er zu diesem Zwecke zunächst mit Schwefelsäure „aufgeschlossen“; d. h. in schwefelsauren Kalk (Gips) und das lösliche Phosphat $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ umgewandelt. Dieses Gemisch kommt unter dem Namen Superphosphat in den Handel.

Die *Hauptquelle* aller gelösten Phosphorsäure ist ein Mineral, das in dem Grundgerüst der Erde, in den Massengesteinen überaus verbreitet ist: *Apatit*. Er kristallisiert in hexagonalen Säulen (Abb. 49) von grauer, violetter oder grünlicher Farbe (Tafel I, 7). Diese sind selten groß ausgebildet, aber in mikroskopisch feinen Nadeln zu Millionen in jedem Stück Granit usw. eingeschlossen (Abb. 85).

IV. Organogene Sedimente im engeren Sinne.

48. **Chemische Vorgänge.** Gesteine, die aus Organismen (Pflanzen oder Tieren) und deren Teilen bestehen, heißen *organogene* Gesteine (oder *Bio-lithe*, griech. bios = Leben, lithos = Stein). Sie sind entweder brennbar oder nicht brennbar, wie die aus Skeletteilen, Panzern usw. bestehenden Massen. Wir betrachten hier nur die ersteren und fassen sie als organogene Gesteine im engeren Sinne zusammen (*Kaustobiolithe*, griech. kaein = brennen).

Die organischen Substanzen gliedern sich chemisch in drei Hauptgruppen: 1. Kohlenhydrate, z. B. *Zellstoff*, Zellulose ($C_6H_{10}O_5$), und der nahe verwandte *Holzstoff*; 2. Eiweißstoffe, ausgezeichnet durch Stickstoffgehalt; 3. Fette, aus C, H, O bestehend. Verbrennt man Holz, so verwandelt es sich unter Zurücklassung eines Häufleins anorganischer Asche in Kohlendioxyd (CO_2) und Wasserdampf (H_2O); es *vergast* also fast vollständig. Erhitzt man Holzspäne *unter Luftabschluß* (vgl. Kohlenmeiler u. ähnl. Vorgang in der Gasanstalt), so entweichen brennbare Gase (Kohlenwasserstoffe), außerdem Dämpfe von Holzessig und Holzteer. Der Rückstand ist schwarze Holzkohle, also ziemlich reiner Kohlenstoff; in diesem Falle ist das Holz nur *entgast*. Nach dem Endprodukt heißt der Vorgang auch *Verkohlung*.

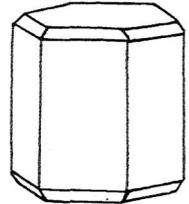


Abb. 49. Apatitkristall:
Hexagonale Säule,
Pyramide, Basis.

In der Natur unterliegen die Organismen ähnlichen Prozessen. Nach dem Verlaufe im einzelnen unterscheidet man folgende *Arten chemischer Umwandlung*:

1. *Verwesung* (langsame Verbrennung). Bei Zutritt von Luftsauerstoff und Feuchtigkeit bilden sich lauter gasförmige Endprodukte; es bleibt kein Rückstand.
2. *Vermoderung*. Bei weniger Luftzutritt und reichlicher Feuchtigkeit bleibt ein geringerer kohlenstoffhaltiger Rest, der Moder des Waldbodens.
3. *Vertorfung*. Als Vermoderung beginnend; später schafft eine Schicht stillstehenden Wassers oder eine neue Pflanzendecke völligen Luftabschluß. Der entstehende Rückstand heißt *Torf*.
4. *Fäulnis*. Die im Wasser lebenden Organismen geraten nach ihrem Tode sofort unter Luftabschluß, vermischen sich mit dem unorganischen Schlamm des Gewässers zu *Faulschlamm* (Sapropel, griech. sapos = faul, pelos = Schlamm), in dem sich die einzelnen Pflanzenreste noch lange in ihrer ursprünglichen Form erhalten können.

Alle vier Vorgänge scheinen durch *kleinste Lebewesen* eingeleitet und befördert zu werden. Bei der Vermoderung und Vertorfung sind Gase entwichen; aber der Rückstand liefert nicht reinen Kohlenstoff, sondern Koh-

len, d. h. ein schwer bestimmbares Gemenge von Kohlenstoff mit wachsartigen, braunen Kohlenwasserstoffverbindungen. Letztere nennt man auch *Bitumen*. Der Vorgang der Kohlenbildung in der Natur heißt im Gegensatz zur gewaltsamen und vollständigen Umwandlung in Kohlenstoff *Inkohlung*. Bei der Fäulnis sind weniger Zell- und Holzstoff vorhanden, sondern mehr öl- und fetthaltige Substanzen. Deshalb ist das Endprodukt noch reicher an Kohlenwasserstoffen, und der chemische Prozeß wird *Bituminierung* genannt.

49. *Faulschlammgesteine*. In Binnenseen, ebenso in flachen Meeresbuchten, Haffen, Lagunen, Wattenmeeren, Mangrovedickichten wimmelt es häufig von kleinen Lebewesen, die teils im Wasser schweben oder schwimmen, teils festsitzen. Nach ihrem Absterben bilden sie zusammen mit den Abfällen größerer Tiere dicke Schichten eines dunkelgefärbten, stinkenden Schlammes. Manche norddeutsche Seebecken sind davon so angefüllt, daß man darin kaum noch rudern kann. Die zunächst breiig fließende, gallertartige Masse, die sich als sehr stickstoffreich erweist, wird an der Luft außerordentlich fest und zähe. Es entsteht ein *Faulschlammgestein*. Je nach der Beimischung verschiedener anorganischer Massen kann man verschiedene Arten desselben unterscheiden, z. B.:

1. *Faulschlammton, bituminöser Ton*. Die anorganischen Tonmassen sind durch die organischen Beimischungen dunkel gefärbt.

2. *Kieselgur (45)*. Wenn unter den Lebewesen kleine Algen mit Kieselpanzer überwiegen (Spaltalgen, Diatomeen), so entsteht ein inniges Gemenge von Bitumen mit wasserhaltiger Kieselsäure (Opal). Will man die Kieselgur technisch (zur Dynamitfabrikation) verwenden, so muß man sie erst durch Abbrennen vom Bitumen befreien.

3. *Faulschlammkalk, bituminöser Kalk, Stinkkalk*. Pflanzen, die im Inneren oder auf der Oberfläche Kalk niederschlagen, Tiere mit Kalkschalen usw. liefern durch Fäulnis einen kohlen-sauren Kalk, der beim Anschlagen einen üblen Geruch zeigt. Solcher „Stinkkalk“ kann sich sowohl in Meeresteilen als in Binnenseen absetzen.

4. *Faulschlammkohle, Kännelkohle*. Diese mattschwarze, zähe, sehr wasserstoffreiche Steinkohle verbrennt mit helleuchtender Flamme (engl. candle = Kerze) und findet in der Leuchtgasfabrik Verwendung. Unter dem Mikroskop erkennt man in ihr noch deutlich die Reste kleiner Algen, Sporen, Wassertiere und Fische.

5. *Erdöl, Petroleum* (gr. pétra = Stein, lat. oleum = Öl), *Naphtha* (pers. nafada = ausschwitzen). Das Petroleum besteht aus Kohlenwasserstoffen, und es unterliegt keinem Zweifel mehr, daß es meist ebenfalls dem Fäulnisvorgange seine Entstehung verdankt. Wo Faulschlamm unter Druck und Wärme gerät, „destillieren“ aus ihm sowohl gasförmige wie flüssige Kohlenwasserstoffe. Als Ausgangsprodukte können dabei Tiere oder Pflanzen (namentlich ölhaltige Algen) in Frage kommen. Das Erdöl durchtränkt lockere Sandmassen (Petrolsande), aus denen es als Fontäne empor-schießt, wenn man

die darüber lagernden Deckschichten durchbohrt hat. Die gasförmigen Kohlenwasserstoffe¹⁾ sowie das spezifisch schwerere Wasser treiben es heraus (Abb. 50). Das Rohpetroleum ist im durchfallenden Lichte braunschwarz, im auffallenden grünlich oder violett. Durch allmähliches Erhitzen wird es getrennt in Petroleumäther, Benzin, Ligroin, Leuchtöl, Schmieröl, Vaseline. Die Hauptfundorte sind Baku am Kaspisee, das Gebiet zwischen den Alleghanies und dem Eriesee in Pennsylvanien, Kalifornien, Ostgalizien, Rumänien und neuerdings Mesopotamien. Unbedeutende Vorkommnisse in Deutschland sind bei Hannover, im Unterelsaß und am Tegernsee.

6. *Asphalt, Erdpech, Erdharz*. Wenn Petroleum lange der Luft ausgesetzt ist, nimmt es Sauerstoff auf und verharzt. Schließlich entsteht ein schwarzbraunes bis schwarzes, fettglänzendes Gestein mit muscheligen Brüche, der Asphalt. Dieser brennt mit rußender Flamme. Man gewinnt ihn in Baku, am Toten Meer, in einem See der Insel Trinidad und verwendet ihn — rein oder mit Kalk vermischt — als Straßenbaumaterial. Schon die Babylonier schätzten ihn als vorzüglichen Mörtel (daher der Name gr. asphaltos = sicher, fest). Einen asphaltreichen Kalk baut man in der Nähe von Hannover ab. Auch das *Erdwachs* (Ozokerit), das als Gangausfüllung in bituminösen Gesteinen der Karpathen vorkommt, ist wahrscheinlich ein Abkömmling des Petroleums. Es ist wachsähnlich, grünlichbraun, gereinigt rotgelb und wird wie Bienenwachs zu Kerzen verarbeitet.

50. Torf. An den Ufern abgeschlossener Wasserbecken in Überschwemmungsgebieten siedeln sich in dem fruchtbaren Schlamm Boden oft zahlreiche wasserliebende Landpflanzen an: Schilfrohr, Schachtelhalm, Binsen, Riedgräser, Astmoos rücken schrittweise nach der Beckenmitte vor, wo schwimmende Seerosen und Wasserlinsen bereits den Wasserspiegel bedecken. Auf dem Grunde des Röhrichts entsteht ein Gewirr von Wurzeln und abgestorbenen Zweigen, ein *Filz*, auf breiartiger Schlamm Masse. Bisweilen wächst der Filz außerordentlich rasch nach dem tieferen Wasser zu, so daß er eine fußdicke, *schwimmende* Pflanzenschicht bildet. Allmählich sinkt diese unter und macht neuen Pflanzen Platz. So verlandet schließlich der See; an seine Stelle tritt ein *Flachmoor* (Niederungs-, Wiesenmoor). Ist die wasserdurchtränkte Pflanzendecke tragfähiger geworden, so rücken die Bäume an; es entstehen Moorbrücher mit Erlen, Weiden und Faulbaum.²⁾

Anders ist die Bildung der *Hochmoore*, die über dem gewöhnlichen Grundwasserspiegel, auf Anhöhen und Abhängen verbreitet sind. Auf einem kalkarmen, nie von fruchtbarem Wasser durchtränkten Boden entstehen sie aus den Resten anspruchsloser Pflanzen. Zu den Edelheiden, Besenheiden und

1) Gewaltige Gasmengen strömen z. Z. in Neuengamme bei Hamburg aus einem Bohrloche. In 24 Stunden verbrannten dort für 60 000 M Gas!

2) Doch sind nicht alle „Brücher“ z. B. Norddeutschlands aus Mooren hervorgegangen; manche sind ehemalige Sümpfe, d. h. mit Pflanzen dicht bestandene Grundwasseransammlungen ohne stärkere Faulschlammunterlage.



Abb. 50. Naphthalenbohrtürme von Baku.

Wollgräsern gesellen sich schließlich zahlreiche Arten von Torfmoos, die in einem Mantel von lufthaltigen Zellen überaus große Wassermengen wie in einem Schwamme aufspeichern können. Nicht nur das Regenwasser halten sie fest, sondern auch die Luftfeuchtigkeit. Dabei besitzen sie die Fähigkeit unbeschränkten Wachstums; während die unteren Pflanzenteile bereits abgestorben und verfilzt sind, treiben oben immer neue bleichgrüne Sprosse hervor.

Die oberen Schichten des Moores zeigen noch die deutliche Zellenstruktur der abgestorbenen Pflanzen; da-

gegen finden wir in größerer Tiefe den „reifen Torf“, eine stark zusammengepreßte, schwarze bis pechartige und stark wasserhaltende Masse. Die Dicke oder *Mächtigkeit* beträgt in den gewöhnlichen flachen Wiesenmooren 1—2 m, in den riesigen norddeutschen und holländischen Hochmooren 2—13 m. Wir finden Torfmoore auf dem Rücken unserer Mittelgebirge als wichtige Quellgebiete (Kranichsee bei Carlsfeld i. Erzgeb.), in Nordwestdeutschland (Bourtanger Moor 1400 qkm), in den „Brücheln“ der Oder, Warthe, Netze, Spree, auf der oberdeutschen Hochebene. Weite Torfmoore besitzen Irland, Schottland, und Schweden. Funde von Riesenhirschen und Urstieren beweisen, daß diese Moore schon Jahrtausende bestehen.

Die bei der Verrotfung in Lösung gehenden „Humusstoffe“ färben das Moorwasser bräunlich. Dringt diese Lösung in die erdige oder sandige Unterlage des Moores, so laugt sie dort mineralische Stoffe, namentlich Eisen aus und entfärbt die Schicht. In einiger Tiefe setzt sich das Auslaugungsprodukt wieder ab, verkittet dabei den lockeren Boden, so daß eine undurchlässige Schicht, der *Ortstein* entsteht.

Wir verwenden Torf (gewonnen in „Torfstichen“) nicht nur als Heiz-

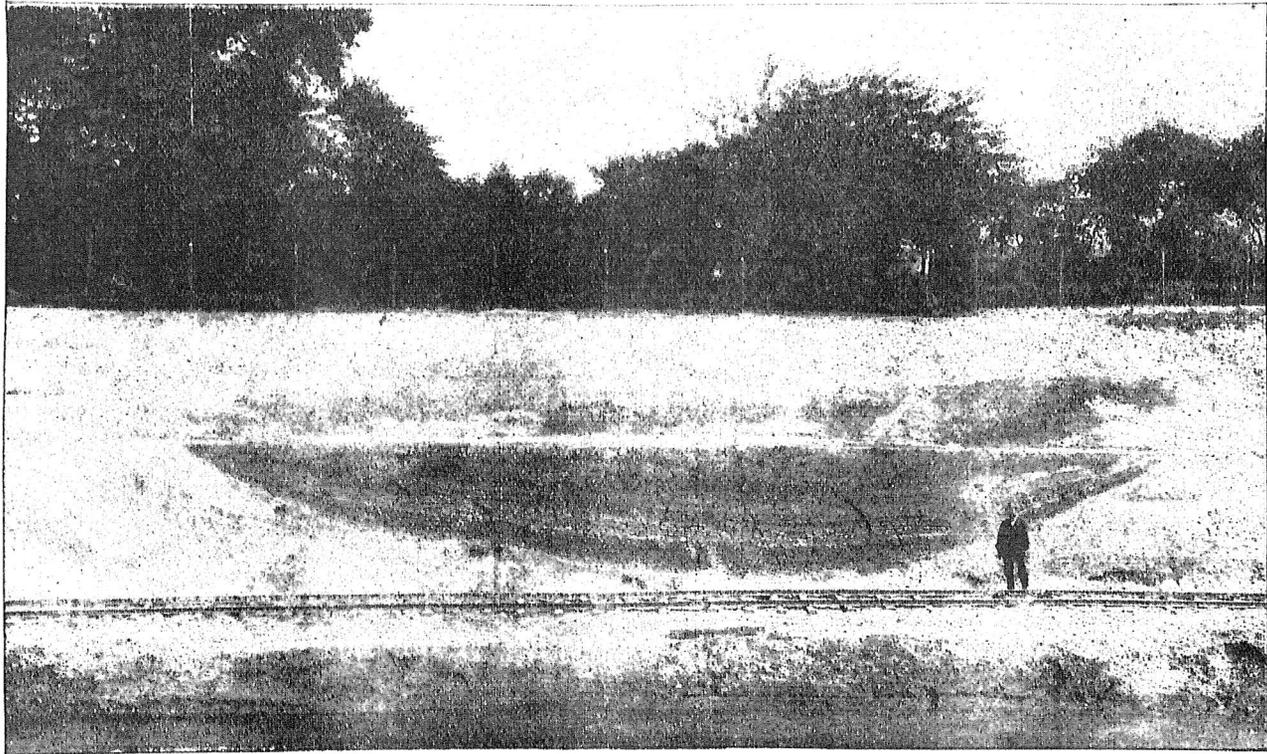


Abb. 51. Profil durch ein kleines ehemaliges Wasserbecken, verlandet durch völlige Ausfüllung mit Fauleschlamm (Trockenrisse!), darüber Torf, das Ganze bedeckt mit Sand. Ufer des Teltowkanals, Steglitz bei Berlin. (Phot v. Potonié.)

stoff, sondern auch wegen seiner desinfizierenden Kraft als Streumittel in Düngergruben und Aborten (Mull).

51. Braunkohle. Der Unterschied zwischen Torf und Braunkohle liegt erstens im höheren Alter und der fortgeschritteneren Inkohlung der letzteren, zweitens in der Art der Pflanzen. Gräser und Moose haben auch hier einen Hauptanteil, dazu kommen Stämme von Kiefern, Zypressen und Taxus. Oft stehen die gebräunten Baumstämme noch aufrecht in der Erde, und die Blätter, Gräser u. a. sind zu einer erdigen Füllmasse geworden. Ein Braunkohlenlager bildet eine Schicht, ein „Flöz“, das mit Sand- und Tonschichten wechsellagert. Es ist 4—10 m dick. Alle Braunkohlen haben das gemeinsame Kennzeichen, daß sie, mit Kalilauge gekocht, diese stark braun färben. Je nach ihrer Beschaffenheit unterscheidet man mehrere *Abarten*, z. B.:

1. *Erdige* Braunkohle, locker, zerreiblich, bisweilen als Farbstoff (Umbra) geeignet.

2. *Holzige* Braunkohle, *Lignit* (lat. lignum = Holz), oft mit so gut erhaltener Holzstruktur, daß man die Stücke hobeln und polieren kann.

3. *Gemeine* Braunkohle, mit undeutlichen Pflanzenresten, unregelmäßig zerbrechend.

4. *Pechkohle*, schwarz glänzend, steinkohlenähnlich. Hierher gehört auch der *Gagat*, der zu Trauerschmuck verarbeitet wird.

Eine besondere Eigentümlichkeit vieler Braunkohlen liefernden Pflanzen ist der außerordentliche Reichtum an *Wachs* oder *Harz*; beide Stoffe sind für die Pflanze treffliche Verschußmittel für Wunden, namentlich bei Windbruch. Es gibt Braunkohlen, die infolge ihres Harzgehaltes fast wie Siegellack brennen (*Harzkohle*, *Schwelkohle*). Fallen derartige Harzpflanzen der Verwesung anheim, so bleibt das Harz als eine fast unverwesliche Substanz allein übrig; es bildet Klumpen von gelber bis brauner Farbe, den *Bernstein* (bernen, bören = brennen) (146). Er verbrennt mit rauchender Flamme und aromatischem Geruch. Auch die *Kopale*, worunter man alle schwer schmelzbaren, für die Lackfabrikation geeigneten Harze zusammenfaßt, entstammen vielfach bereits ausgestorbenen Baumarten, sind aber chemisch dem Bernstein nicht ganz gleich zusammengesetzt.

Die meisten Braunkohlenlager haben sich in einem bestimmten Zeitalter der Erdentwicklung, der zur „Neuzeit“ gehörigen *Tertiär-* oder *Braunkohlenperiode* gebildet (146). Die für uns wichtigsten *Fundorte* sind in Nordböhmen (Abb. 52) (Brüx, Dux, Ossegg u. a.), in der sächsisch-thüringischen Bucht (Zeitz, Meuselwitz), in der Lausitz (Zittau, Senftenberg) und der Oberpfalz.

52. *Steinkohle*. Ohne scharfe Grenze gehen die Braunkohlenarten in die Steinkohle über. Die *Merkmale* der letzteren sind im allgemeinen folgende: schwarze Farbe, die aber nur eine schwache Gelbfärbung der Kalilauge hervorruft, höherer Gehalt an Kohlenstoff, nur mikroskopisch erkennbare Pflanzenstruktur. Sind sie reich an Bitumen, so heißen sie „*fett*“; bitumenarme sind „*mager*“. Zu ersteren gehören die leicht schmelzenden, weichen „*Backkohlen*“,

die in der Gasfabrik geschätzt sind. Magere „Sandkohlen“ zerfallen in der Hitze zu Grus und brennen mit kürzerer Flamme.

Die Steinkohlen sind viel älter als die Braunkohlen; sie haben sich größtenteils im Altertum der Erde, und zwar in der *Steinkohlenzeit* (*Karbonperiode*) (141) und der darauffolgenden *Rotliegendenperiode*, gebildet. Da in den Steinkohlen der Verkohlungsprozeß schon weiter vorgeschritten ist, sind die Flöze auch von geringerer Dicke; aber oft treten — durch graue Sandstein- oder Schiefertonglagen getrennt — mehrere Flöze übereinander auf.

Die wichtigsten Steinkohlenbezirke in Deutschland aus der Karbonzeit sind: 1. Aachener Bezirk, 2. Ruhrkohlenbecken, 3. Saarrevier (Abb. 192), 4. Becken von Zwickau und Lugau, 5. niederschlesisches oder Waldenburger Becken, 6. oberschlesisches Becken. Aus der Rotliegendenzeit stammen die Kohlen in dem Döhlener Becken bei Dresden, die Vorkommnisse in Thüringen und am Harzrande. Der Aachener Bezirk ist nur ein Ausläufer jener großen Mulde, die quer durch Belgien¹⁾ bis nach Frankreich zieht. Frankreich besitzt noch ein zweites Steinkohlengebiet bei St. Etienne; Englands Hauptlager sind in Süd Wales, im Penninischen Gebirge und im äußersten Nordosten; dazu kommt das schottische Tiefland. Österreich ist auf die böhmischen Vorkommnisse zwischen Pilsen und Kladno angewiesen. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist der breite Streifen zwischen Alleghanies und Mississippi am besten ausgestattet; doch hat man auch westlich des Felsengebirges Steinkohlen in Menge gefunden. Gewaltige Kohlenschätze, mit deren Hebung noch kaum begonnen worden ist, ruhen vor allem in Kanada und China (Schantung). Gegenwärtig beteiligen sich die Hauptländer an der Lieferung der Steinkohlen mit folgenden Mengen:

	1911	1912
Vereinigte Staaten von Nordamerika ²⁾	450165000 t	? t
Großbritannien	276255000 „	264595000 „
Deutsches Reich	160747000 „	174881000 „
Frankreich	38521000 „	40394000 „
Belgien	23053000 „	22972000 „
Österreich-Ungarn	15670000 „	17088000 „

53. Bildung der Steinkohlen. Wenn auch die eigentliche Steinkohle keine deutliche Pflanzenform mehr erkennen läßt, so sind uns doch in den Sandsteinen und Schiefertönen, die die Flöze umhüllen, wie in einem Herbarium prächtige Abdrücke von Blättern und Früchten, breitgequetschte Stämme und Wurzelstücke erhalten. Da man meist nur Bruchstücke fand, war es schwierig, die zusammengehörigen Pflanzenteile herauszufinden. Aber darüber ist heute kein Zweifel mehr, daß die Steinkohle genau dieselbe Entstehungsgeschichte hat wie Torf und Braunkohle. Die meisten Steinkohlenlager sind *ehemalige Waldmoore*, ähnlich den Erlen- und Birkenbrüchern

1) Dazu seit 1916 die nordbelgische Campine! 2) Stein- und Braunkohlen!

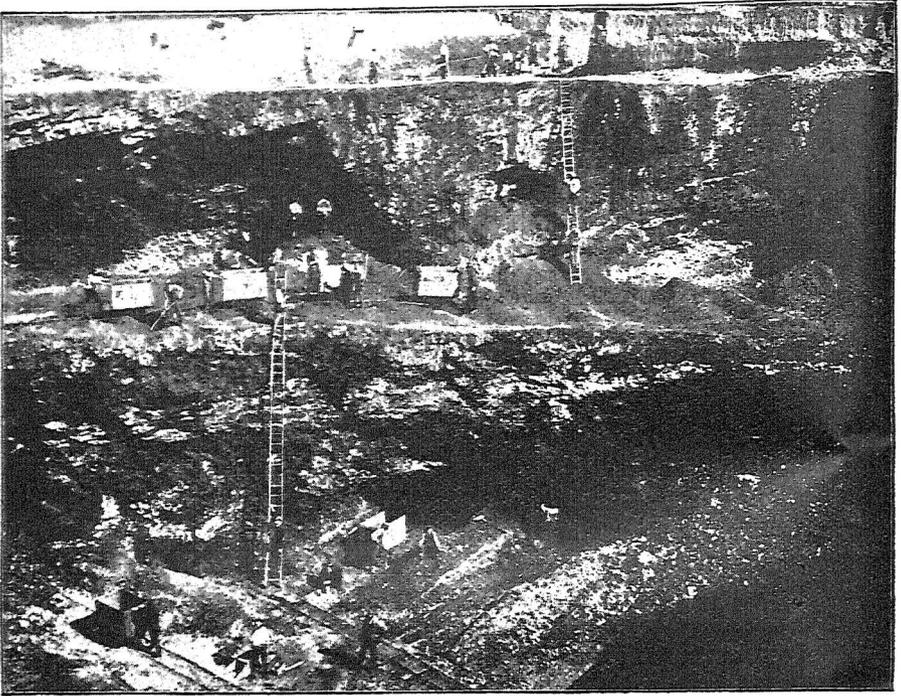


Abb. 52. Braunkohlentagebau bei Dux. Flöz mit Deckschichten. (Hofphot. Eckert-Prag.)

des Spreewaldes oder den Zypressensümpfen des südlichen Nordamerika. Daß die Kohlen sich *noch auf derselben Stelle* befinden, wo einst die betreffenden Pflanzen gewachsen sind, dafür sprechen vor allem folgende Tatsachen: Bisweilen kommen weite Schichten mit den Wurzelresten vor; an den Wurzeln sind die feinsten, wagerecht ausgebreiteten Anhängsel noch unversehrt erhalten; die Stämme stehen manchmal noch aufrecht in Gruppen da. (Abb. 193.)

Hier und da gibt es allerdings auch Kohlenlager, die aus zusammengeschwemmtem *Treibholz* aufgebaut worden sind. An Flußmündungen, in sumpfigen Buchten haben sich die Massen gestaut und sind später von Sand und Schlamm überdeckt worden; ein Vorgang, den man heute am Mississippi und Amazonas beobachten kann.

54. **Anthrazit.** Fast metallähnlicher Glanz, oft schön muscheliger Bruch, große Sprödigkeit sind die Hauptmerkmale dieser Kohlenart. Daß sie sich durch hohen Kohlenstoffgehalt und demnach durch großen Heizwert auszeichnet, lehrt folgende *Vergleichstabelle* über den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt:

Holz	Torf	Braunkohle	Steinkohle	Anthrazit
50%	60%	70%	75—90%	über 90%.

Im allgemeinen ist der Anthrazit (gr. *ánthrax* = Kohle) eine *sehr alte Abart* der Steinkohle, in der der Vorgang der Entgasung und Kohlenstoffanreicherung fast zu Ende geführt ist. Aber es gibt Umstände, unter denen selbst jugendliche Braunkohle in kurzer Zeit „anthrazitisiert“ wird. Wie z. B. in der Leuchtgasfabrik die Kohle durch starke *Hitze* entgast wird und die brennbaren Koks übrigbleiben, so wird ein Braunkohlenflöz in aufgeblähte koksähnliche Masse verwandelt, wenn sich ein Lavastrom darüber ergießt (am Meißner bei Kassel). Befindet sich das Flöz in größerer Tiefe, so wird die Aufblähung durch den großen Druck verhindert, und das Umwandlungsprodukt ist Anthrazit. Wie man andererseits in Nordböhmen aus Braunkohlenklein durch starken *Druck* eine steinkohlenähnliche Preßkohle erzeugt, so hat sich auch in der Natur der Kohlungsprozeß unter Druck bis zur Anthrazitbildung fortgesetzt.

In Deutschland spielt Anthrazit eine geringe Rolle¹⁾; mächtige Lager besitzen dagegen Nordamerika (Pennsylvanien) und England.

55. Graphit. Graphit (gr. *graphein* = schreiben) stellt eine schwarze, weiche, stark metallisch glänzende Masse dar, die sich schlüpfrig anfühlt und leicht schreibt (Reißblei). Meist kommt er in blättrigen oder grobschuppigen Stücken vor, bisweilen in parallelen Fasern, selten in sechsseitigen Kristallblättchen.

Da er fast *reiner Kohlenstoff* ist und am häufigsten als Einlagerung in Schichtgesteinen vorkommt, denen man ein hohes Alter zuzuschreiben gewohnt war, so hielt man ihn für das natürliche Endglied des Verkohlungsprozesses, für die *älteste Kohle*. Bei Krumau im Böhmerwald liegt der Graphit in zwei Lagern parallel zwischen Gneis (136) und Kalkstein; in den Mittelalpen erscheint er in echten Flözen zwischen Tonschiefern und Sandsteinen, wobei in ihm noch teilweise die Pflanzenstruktur und eingelagerte Versteinerungen erhalten sind. Wir werden aber später (104, 137) sehen, daß alle jene Gesteine durch ungeheure Hitze oder Druck nachträglich umgebildet sind, und daß auch der Graphit nicht dem höheren Alter, sondern *Hitze* oder *Druck* seine Entstehung verdankt.

Auf der Insel Ceylon und bei Irkutsk in Sibirien findet man den Graphit dagegen als *Ausfüllungsmasse von mächtigen Spalten*, die senkrecht die Felsen durchsetzen und sich baumartig verzweigen. Hier ist eine Entstehung aus Pflanzenablagerungen oder tierischen Resten ausgeschlossen. Ob sich freilich hier der Graphit aus feuerflüssiger Schmelze ausgeschieden hat (wie die Graphitblättchen im grauen Roheisen), oder ob er einer wässrigen Lösung oder kohlenwasserstoffhaltigen Dämpfen entstammt, wissen wir nicht.

Als man das erste Graphitlager in der Mitte des 17. Jahrhunderts in

1) Der sogenannte Olbernhauer Anthrazit wird auf böhmischem Gebiet bei Brandau i. Erzgeb. gewonnen.

Cumberland entdeckte, erkannte man die große Verwendbarkeit des Stoffes als Schreibmittel. Seit dieser Zeit werden namentlich die sibirischen, ceylonischen, nordamerikanischen und böhmischen Graphite zu diesem Zwecke bergmännisch gewonnen. Der Graphit wird gemahlen, in Setzkästen geschlämmt, mit Ton vermischt und durch Pressen vom Wasser befreit. In der Bleistiftfabrik werden die ziegelförmigen Stücke wieder zu Brei aufgeweicht und durch Siebe gedrückt. Die dabei entstehenden nudelförmigen Stängelchen werden getrocknet, geglüht und in Holz gefaßt. Geringere Graphitsorten geben Maschinenschmiere, Eisenanstrich oder — mit feuerfestem Ton — gute Schmelztiegel (Obernzell bei Passau). Am Niagarafalle stellt man jetzt große Mengen Graphit künstlich her, indem man gewöhnliche Kohle in elektrischen Öfen umwandelt.

Aufgaben: Wie verhält sich das Gewicht der Holzkohle zu dem des Holzes? Warum muß sie leichter sein? Warum muß die gleiche Menge Pflanzenmaterial ein dickeres Braunkohlenflöz, aber ein dünneres Steinkohlenflöz bilden? Anthrazit entzündet sich schwerer und bedarf gut ziehender Heizungsanlagen; woran liegt das? Manche Kohlenarten knistern und zerspringen beim Verbrennen; welche Ursache hat diese Erscheinung?

Würde man unter die organischen oder organogenen Sedimente alle diejenigen Gesteine rechnen, bei deren Bildung Pflanzen oder Tiere eine vermittelnde Rolle gespielt haben, so würde hierher eine ganze Zahl von Gesteinen gehören, die wir als chemische Sedimente bezeichnet haben — welche?

V. Lagerungsformen der Sedimentgesteine.

56. Ursprüngliche Lagerung. Wenn sich Trümmer absetzen, so bilden sie eine nahezu wagerechte Lage.¹⁾ Wechselt im Laufe der Zeit die Art oder Korngröße der Sedimente, so entstehen deutlich unterscheidbare Bänke oder *Schichten*. Eine Schicht ist ein von parallelen Flächen begrenzter Gesteinskörper. Die Dicke oder *Mächtigkeit* derselben wird rechtwinklig zu den Begrenzungsflächen gemessen. Fassen wir in einer *Schichtenfolge* eine bestimmte Lage (z. B. c in Abb. 53) ins Auge, so nennen wir die nächst höhere Schicht

das *Hangende* (d), die nächst tiefere das *Liegende* (b). Unter normalen Verhältnissen werden also die Schichten sämtlich horizontal oder „*schwebend*“ liegen müssen, und die älteren Schichten sind von den jüngeren *überlagert*.

1) Hiervon machen nur wenige Sedimente eine Ausnahme, z. B. Wasserabsätze an Deltas, Steilufern, von den äolischen Bildungen die Dünen oder vulkanische Tuffe auf dem Abhänge der Kegelberge.

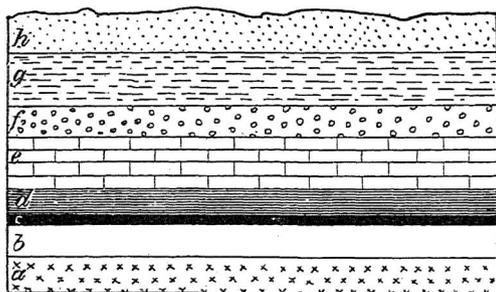


Abb. 53. Ursprüngliche Lagerung der Schichten, zugleich Beispiel für verschiedene in Profilen anzuwendende „Signaturen“.

Vergrößert sich ein Wasserbecken, überflutet z. B. ein Meer allmählich die ebenen Küstenstrecken („Transgression“), so muß die jüngere Sedimentbildung weiter ausgebreitet sein als die ältere.



Abb. 54. Ausfüllung eines Beckens durch Sedimente; übergreifende Lagerung.

Es entsteht die *übergreifende Lagerung* (Abb. 54).

57. *Gestörte Lagerung*. Nur selten finden wir in der Natur Schichtgesteine auf weite Erstreckung völlig in ihrer ursprünglichen schwebenden Lagerung, wie z. B. im größten Teile des Elbsandsteingebirges. Meist zeigen uns die Aufschlüsse einen bunten Wechsel verschiedener Richtungen, die alle erst nach erfolgter Ablagerung der Schichten durch gewaltsame Störung und Umlagerung zustande gekommen sein können. Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden (Abb. 55):

1. *Schräge Lagerung*. Wir erkennen die Schichten aus Abb. 53 in derselben Altersfolge wieder (vgl. auch Abb. 19).

2. *Senkrechte, „saigere Stellung“* („Die Schichten stehen auf dem Kopfe“).

3. *Überkippte Stellung*. Was früher Hangendes war, ist zum Liegenden geworden. Bei Fall zwei und drei würde es unter Umständen schwer sein, die Altersbeziehungen der Schichten festzustellen, wenn wir nicht in einem anderen Aufschlusse dieselben Gesteine in ihrer ursprünglichen Lagerung beobachtet hätten.

4. *Diskordante Auflagerung*. Während uns die bisherigen Fälle beweisen, daß die Sedimentierung nahezu ununterbrochen erfolgt ist, daß sich eine Schicht unmittelbar, in gleicher Richtung (*konkordant*) auf die vorige gelegt hat, zeigt uns Profil Abb. 56 folgendes: Die Schicht a ist zunächst wagrecht abgelagert und später gewaltsam schräg gestellt worden. Sie war dann eine Zeitlang nicht mehr vom Meere bedeckt; Wasserläufe erzeugten auf der Oberfläche Hügel und Täler. Hierauf bedeckte das Meer wieder das Ganze, glich zunächst die Unebenheiten aus und lagerte dann die Schichten b in normaler Weise ab. Man nennt den so erzeugten plötzlichen Wechsel in der Schichtstellung *ungleichmäßige* oder *diskordante Auflagerung* (lat. *discors* = uneinig).

58. *Verwerfungen*. Wodurch werden derartige anormale Schichtstellungen hervorgerufen? An einer geschliffenen Platte von Bandachat (Abb. 42) sieht man häufig, wie die bunten Bänder plötzlich längs eines Risses aufhören und an einer anderen Stelle wieder einsetzen. Das Stück

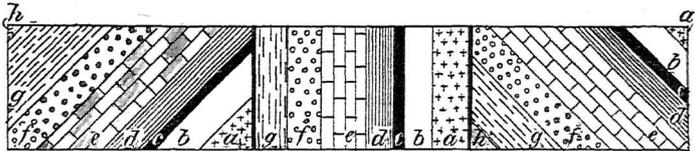


Abb. 55. Die Schichten von Profil 53 in schräger, senkrechter und überkippter Stellung.

ist offenbar zertrümmert gewesen, und erst nachträglich sind die Bruchstücke in veränderter Lage

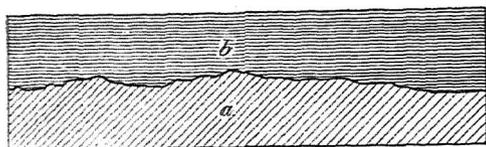


Abb. 56. Diskordante Auflagerung.

wieder verkittet worden. Derselbe Vorgang spielt sich im großen in der starren Felskruste der Erde ab. Wie die Eisdecke auf einem Flusse von Sprüngen durchsetzt wird, wie schließlich bei anhaltendem Drucke das Eis in einzelne Schollen zerfällt, die sich an ihren glatten Rändern verschieben — teils in wagerechter Richtung, teils übereinander —, so teilt sich auch die Erdkruste in Schollen. Bei Erdbeben tut sich bisweilen plötzlich der Boden auf; an einem klaffenden Risse rutscht ein Stück Land mehrere Meter tiefer. Die Arbeiten in Bergwerken haben gezeigt, daß solche Verschiebungen viel häufiger sind, als es nach den wenigen Beobachtungen an der Erdoberfläche scheint. Man nennt derartige Verschiebungen *Verwerfungen*. Am Querprofil (Abb. 57) erkennt man folgende Teile:

- a) die stehengebliebene Scholle (stehengebliebener Flügel),
- b) die abgesunkene Scholle (Flügel),
- c) die Verwerfungskluft,
- d—e) die Sprunghöhe der Verwerfung, d. h. den senkrecht gemessenen Betrag der Krustenbewegung.

Ob eine Scholle abgesunken oder die benachbarte aufwärtsgeschoben ist, läßt sich selten feststellen. Die *Sprunghöhe* wechselt von wenigen Zentimetern bis zu Hunderten von Metern. Die Schollenbewegung erfolgt meist so langsam, daß Jahrtausende vergehen, bis eine Scholle sich völlig „gesetzt“ hat. Die *Verwerfungsspalte* erfährt dabei ein verschiedenes Schicksal: 1. Ist das Gestein zähe, so reiben sich die Felsflächen ganz glatt und glänzend, und nur einzelne parallele Kritzen verraten die Richtung der Bewegung. Es entstehen *Rutschflächen*, *Harnische* oder *Spiegel*. 2. In brüchigem Gestein bilden sich scharfkantige Trümmer und feineres Gesteinsmehl, das nachträglich wieder zu einer einheitlichen Masse, einer „*Reibungsbreccie*“ (13) wird. 3. Die Spalte bleibt stellenweise klaffend; Wasser sickert hinein, und chemische Absätze schließen allmählich die Wunde. Zu diesen *Spaltenausfüllungen* gehören z. B. die *Erzgänge* (118).

Im *Gelände* treten die Verwerfungen bisweilen deutlich als Steilabstürze oder Terrassen hervor; öfter aber erkennen wir sie nur daran, daß längs einer Linie plötzlich ein Gestein von anderer Beschaffenheit und anderem Alter auftritt. In solchen Fällen werden die Verwerfungen auf der geologischen Karte durch eine *kräftige Grenzlinie* gekennzeichnet. Für die *Geographie* sind besonders folgende Schollenverschiebungen wichtig:

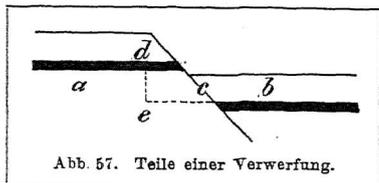
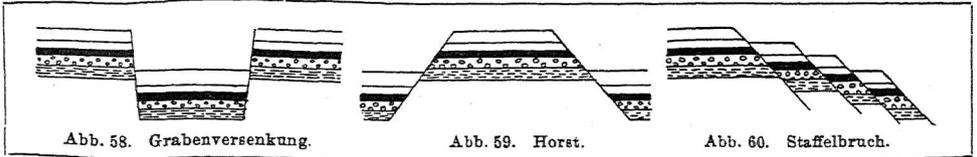


Abb. 57. Teile einer Verwerfung.

1. *Einseitige Verwerfungen* (einseitiges Bruchgebirge); z. B. Steilabfall des Erzgebirges, ostafrikanische „Bruchstufe.“

2. *Grabenversenkung* (Abb. 58). Eine



abgesunkene, langgestreckte Scholle zwischen zwei stehengebliebenen Flügeln, z. B. Elbtal unterhalb Dresden, Oberrheinische Tiefebene (Abb. 61), Jordantal und seine Fortsetzung bis zum Busen von Akaba, Ostafrikanische Seenlandschaft. Die großartigsten Gräben hat man neuerdings auf dem Grunde des Stillen Ozeans gefunden, z. B. den Philippinengraben mit 9780 m Meerestiefe, den Marianengraben (9636 m), das Kermadectief (9427 m), die Tongarinne (9184 m).

3. *Kesselbruch*. Eine abgesunkene Scholle wird allseitig von höheren Flügeln umgeben, z. B. Rheintal unterhalb Koblenz, Ries bei Nördlingen.

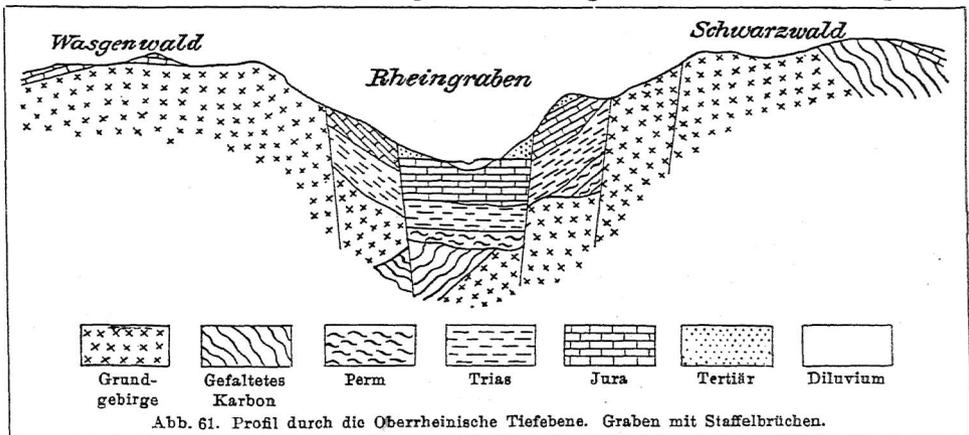
4. *Horst* (Abb. 59). Eine hochliegende Scholle zwischen zwei abgesunkenen Flügeln, z. B. Thüringer Wald.

5. *Staffelbruch* (Abb. 60). Eine Anzahl von parallelen Verwerfungsspalten ruft ein stufenförmiges Absinken hervor. Fast alle größeren Verwerfungsgebiete gehören hierher; besonders deutlich ist z. B. der Staffelbruch des Elbsandsteins bei Bodenbach (Abb. 19).

6. *Blattverschiebung*. Die beiden Schollen sind nicht von oben nach unten, sondern in der Ebene aneinander hingeschoben; z. B. Rheingebiet zwischen Chur und dem Bodensee.

59. Hebungen und Senkungen der Kontinente. Die längsten Bruchlinien und die tiefsten Verwerfungen bilden die *Ränder der Erdteile*. Gewöhnlich begleitet ein seichter Meeresstreifen den Kontinent; erst jenseit desselben erfolgt der gewaltige Absturz in die Tiefe des eigentlichen Ozeanbeckens. Daß diese Riesenschollen auch heute noch in langsam steigender oder sinkender Bewegung sind, dafür sprechen verschiedene Tatsachen:

1. In fast allen mitteleuropäischen Gebirgen bis hinauf zu den Alpen-



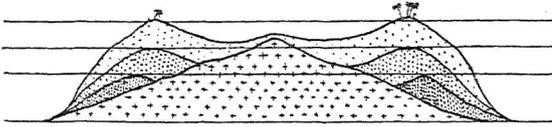


Abb. 62. Entstehung eines Atolls aus dem Strandriff einer Vulkaninsel. Die 4 wagerechten Linien bezeichnen den Wasserspiegel in den verschiedenen Entwicklungsperioden.

gipfeln gibt es Schichtgesteine mit versteinerten Meerestieren; also müssen alle diese Landschaften einmal den Meeresboden gebildet haben.

2. An den Steilwänden der norwegischen Fjorde laufen in einer Höhe von mehr als 100 Metern nahezu wagerechte, tief eingeschnittene Furchen. Man hat sie als das ehemalige, von der Brandung bearbeitete Meeresufer erkannt und als *Strandlinien* bezeichnet. Auch die Küste von Schottland wird von Strandlinien in verschiedener Höhe begleitet.

3. An zahlreichen Punkten der deutschen Küste findet man unter Sand und Lehm — tiefer als der heutige Meeresspiegel — Schichten mit eingewurzeltten Baumstämmen als Zeugen *untergegangener Wälder*. Das Meer muß also in jüngster Vergangenheit erst diese Küstenstreifen überflutet haben. Auch Holland gehört zu diesen sich senkenden Küstenländern und kann nur durch große Deichbauten vor den Überflutungen des Meeres geschützt werden. Das Vordringen des Meeres über ein sich senkendes Land nennt man eine *Tansgression* (Abb. 54).

4. Im Großen Ozean gibt es zahllose kleine Koralleninseln, darunter die ringförmigen *Atolle*. Da Korallentierchen nur bis zu einer Tiefe von 60 m leben können und deshalb ihre Bauten als Riffe auf die untermeerischen Abfälle der Festländer gründen, müssen wir für jedes Atoll eine untergegangene Insel voraussetzen (Abb. 62).

60. **Faltungen.** Zeigte der Trümmerachat die Verwerfungen im kleinen, so gibt es Handstücke von Quarzschiefern, Kalkstein u. a., in denen die Schichten in wunderlicher Weise in Falten und Knicke zusammengeschoben sind (Abb. 63). Legt man eine Anzahl Tuchstreifen aufeinander und schiebt

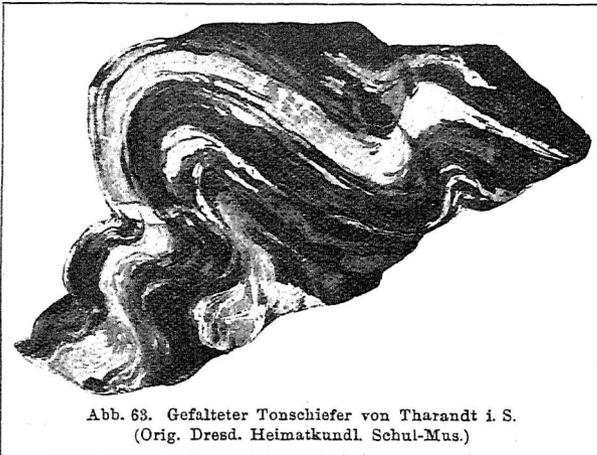


Abb. 63. Gefalteter Tonschiefer von Tharandt i. S. (Orig. Dresd. Heimatkundl. Schul-Mus.)

sie von der Seite her zusammen, so erhält man einen ähnlichen Faltenwurf und erkennt zugleich, unter welchen Bedingungen sich solche Vorgänge in der Natur abspielen können: Es muß erstens ein *seitlicher Druck* vorhanden sein, und zweitens müssen sich die starren Schichtgesteine unter Umständen biegsam, *plastisch* verhalten. Versuche

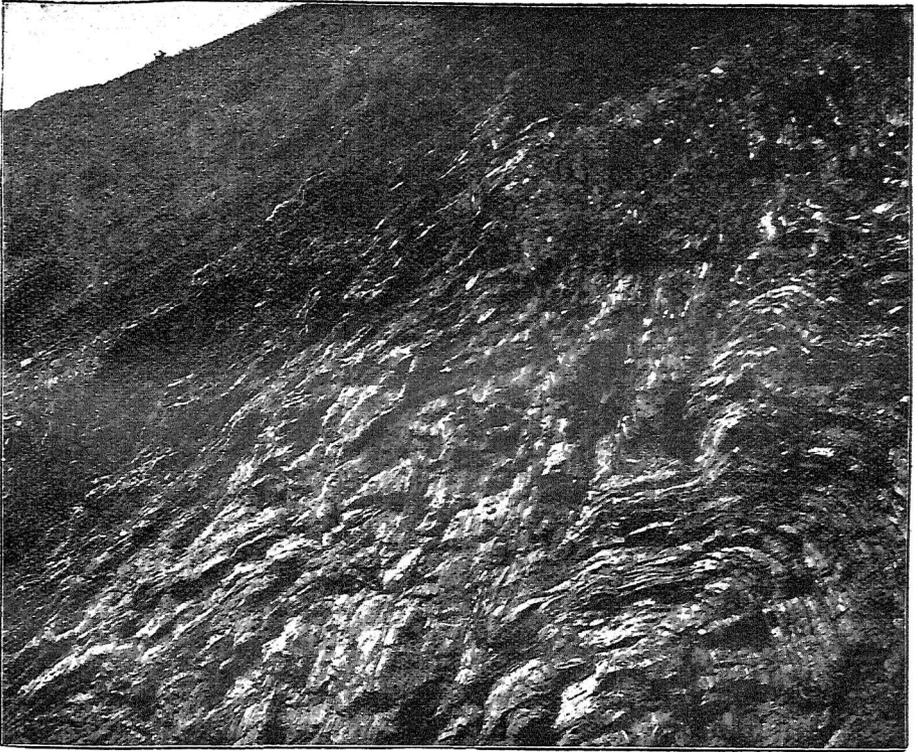


Abb. 64. Gefalteter Kalk im Moldautal bei Prag. (Hofphot. Eckert-Prag.)

haben ergeben, daß letzteres möglich ist, wenn das Gestein *stark gedrückt*, d. h. von oben her belastet ist. Faltung ist also nur in einer gewissen Tiefe der Erdkruste denkbar. Die *Größe* der Falten wechselt außerordentlich; wir beobachten sie nicht nur in Handstücken, sondern im weiten Schwung an Felswänden (Abb. 64), und Riesenfalten beherrschen den Aufbau ganzer Gebirgszüge. Beispiele für Faltengebirge: Schweizer Jura, Alpen, Karpathen, Balkan, Kaukasus, Pyrenäen, Apenninen u. a. Auch unsere Mittelgebirge sind meist abgetragene Faltensysteme. Die rheinischen Gebirge werden z. B. in ihren Grundlinien von nordöstlich gerichteten Falten beherrscht. (Abb. 187.) Beim Faltungsvorgange werden die Schichten auf einen kleineren Raum zusammengeschoben wie die Schale eines sich runzelnden Apfels. So hat man im Simplongebiet eine Zusammenschiebung der Schichten von 200 auf 20 km Ausdehnung berechnet.

An einer Falte unterscheiden wir folgende *Teile*:

a) Sattel, b) Mittelschenkel, c) Mulde.

Ist ein Sattel in seinem oberen Teil durch Zerstörung wieder verschwunden, so ergänzen wir ihn im Profil durch einen punktierten „*Luftsattel*“. In der Natur kann uns ein solcher Sattel in verschiedener Weise ent-

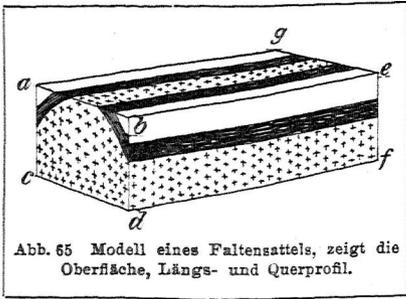


Abb. 65 Modell eines Faltensattels, zeigt die Oberfläche, Längs- und Querprofil.

gegentreten: a) von oben angeschnitten, so wie er ins Kartenbild einzutragen ist, b) im Längsprofil, c) im Querprofil (Abb. 65).

Die Richtung (b—e), in der die Falte läuft, nennt man das *Streichen*. Es wird mit dem Kompaß gemessen, man sagt: „Das Streichen ist ostwestlich“ oder (vom Nordpunkt aus in Winkelgraden gemessen) „das Streichen ist N 90° gegen

0“. Die Schiefstellung der Schichten im Querprofil heißt „*Einfallen*“; sie wird mit dem Winkelmesser bestimmt, und man fügt die Himmelsgegend hinzu, nach der die Schichten fallen, z. B. „*Einfallen* 35° nach W“.

Auf geologischen Karten gibt es kleine Zeichen, die gleichzeitig Streich- und Fallrichtung sowie Fallwinkel angeben: Abb. 66.

Häufig treten die Faltungen in Verbindung mit Verschiebungsprozessen, und es entstehen wichtige *Mischformen*:

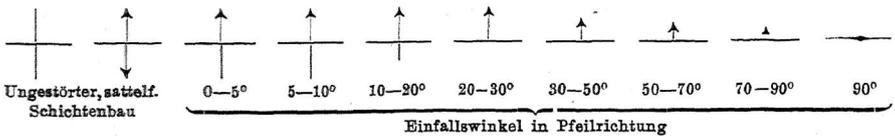


Abb. 66. Bezeichnung von Streichen und Fallen der Schichten auf den sächsischen geologischen Karten.

1. *Schleppung* (z. B. in den Plänerkalkschichten des Elbtalrandes unfern Dresdens) (Abb. 67).

2. *Überschiebung*: Die Falte wird am Mittelschenkel zerbrochen, „*ausgequetscht*“; der obere Teil schiebt sich schuppenförmig viele Kilometer weit über den unteren fort und bildet dann in einer ganz anderen Gegend eine „*ortsfremde Scholle*“ (Alpen) (Abb. 68).

3. *Überfaltungsdecke* (Faltenüberschiebung): Der Seitendruck ist so ungeheuer, daß eine ganz schmale Falte entsteht, die sich lappen- oder deckenförmig weit über das Vorland schiebt, bis sie an irgendeinem Hindernis sich staut oder „*aufbrandet*“ (Abb. 69, 70). Auf diese Weise können Gesteine einer weit entfernten Gegend, der „*Wurzelregion*“, sich als fremdartige Gebilde auf eine Felsunterlage legen. Die Erkennung dieser Überfaltungsdecken hat vor kurzem die ganze Alpengeologie völlig umgewandelt. So stammen z. B. die Schichten der Berner Alpen aus der Gegend des Montblanc; das Rätikon ist ebenfalls viele Kilometer weit von Süden her geschoben worden.

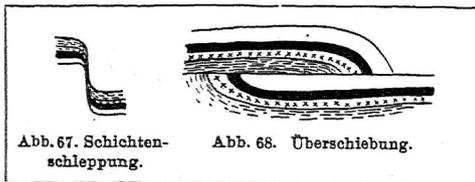


Abb. 67. Schichtenstörung.

Abb. 68. Überschiebung.

Aufgaben: Beispiele aus der engeren Heimat über Schichtenstörungen werden gekennzeichnet und erläutert. Suche Handstücke mit Schichtenstörungen, z. B. schwarze Kieselschiefergerölle mit weißen Bän-

dern. Mache dir die verschiedene Wirkung der Störungen im Grundriß, Quer- und Längsprofil klar, indem du Zigarrenkisten nach dem Muster der Abb. 65 übermalst. Ergänze die Profile in Abb. 72, 102 durch Luftsättel. Versuche das Profil (Abb. 102) in eine schematische Karte mit eingetragenen Zeichen für Streichen, Fallen, Verwerfung zu übersetzen. Stelle dir einen geologischen Kompaß her, indem du einen gewöhnlichen Taschenkompaß in einer flachen rechteckigen Schachtel derart befestigst, daß eine Schachtelkante parallel der Nordlinie verläuft. Man bestimmt dann das Streichen, indem man die Schachtel mit diesem Rande an die streichende Schicht wagerecht anlegt und die Abweichung von der Nordlinie abliest. Ost und West ist dann zu vertauschen. Wie Fallwinkel abgelesen werden können, vergleiche Abschnitt 4.

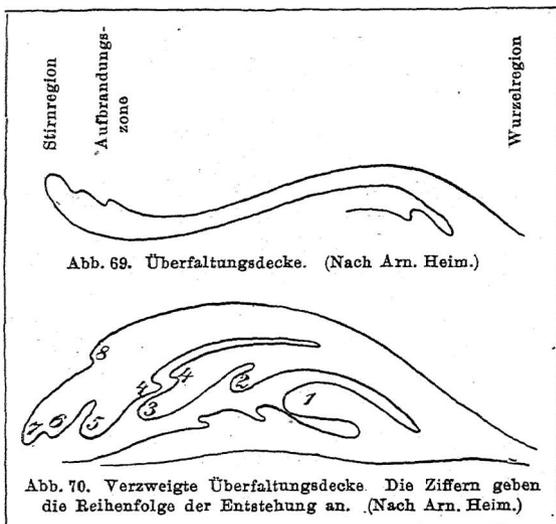


Abb. 69. Überfaltungsdecke. (Nach Arn. Heim.)

Abb. 70. Verzweigte Überfaltungsdecke. Die Ziffern geben die Reihenfolge der Entstehung an. (Nach Arn. Heim.)

Folgen der Schichtenstörungen.

61. Pressungs- und Zerreißungsklüfte. Es ist klar, daß so gewaltsame Vorgänge wie die Verschiebungen oder Biegungen der starren Felskruste von allerhand Folgeerscheinungen begleitet sind. Die Gesteinsmassen stehen während der Bewegungen unter ungeheurem Druck oder Zug. Die Wirkung ist in beiden Fällen ganz ähnlich. Durch *Zug* werden die Gesteinsplattchen rechtwinklig zur Krafrichtung zerrissen; es entstehen *Zerrungs-* oder *Zerreißungsklüfte*. So erklärt man z. B. die zahllosen senkrechten Klüfte innerhalb des Elbsandsteingebirges durch eine drehende Bewegung der Scholle.

Wird dagegen ein Gestein stark *gepreßt*, so suchen sich die kleinen Mineralteilchen, besonders die dünnen Glimmerblättchen, dem Drucke dadurch zu entziehen, daß sie sich rechtwinklig zur Druckrichtung stellen. Dadurch blättert aber das Gestein in dieser Richtung so leicht auf, daß es in dünne Platten zerfällt. Der größte Teil unserer älteren Tonschiefer zeigt diese Plattenabsonderung viel besser als die ursprünglichen Schichtfugen, die gewöhnlich stark gefaltet verlaufen. Jede Dachschieferplatte, jede Schreibtafel verdankt ihre glatten Begrenzungsflächen nicht dem Sedimentierungsvorgang, sondern eben jener Pressung. Man nennt diese wichtige Erscheinung deshalb „falsche Schichtung“ oder besser *Druckschieferung* (Abb. 71).

62. Grundwasserverhältnisse und Quellen. Von dem Regenwasser, das

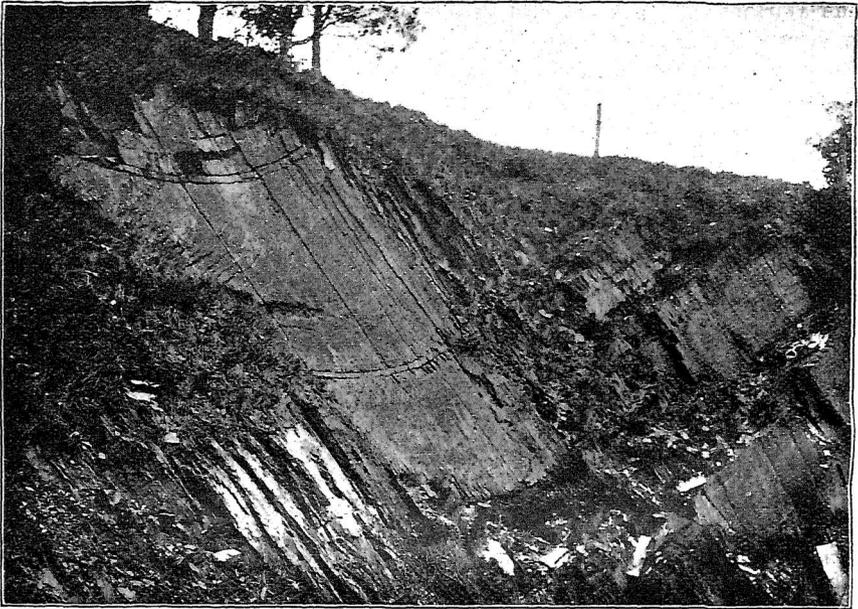


Abb. 71. Druckschieferung und muldenförmige Schichten im Tonschiefer bei Goslar.
(Phot. von Dr. Baumgärtel.)

den Boden benetzt, fließt nur ein Teil oberflächlich ab; ein anderer versickert und sammelt sich in gewisser Tiefe als *Grundwasser*. Dabei verhalten sich die Boden- und Gesteinsarten dem Wassereindringen gegenüber verschieden. Tone und nicht von Klüften durchsetzte Gesteine wirken hindernd, *wasserundurchlässig*; Sande, Schotter, poröse Sandsteine, Kalksteine sind *durchlässig* und *wasseraufspeichernd*. So sammeln sich große Wassermengen über einer undurchlässigen Schicht, durchtränken sämtliche Hohlräume der darüberlagernden Massen und bilden dort eine stillstehende oder auf geneigter Unterlage sich überaus langsam fortbewegende Masse, einen *Grundwasserstrom*. Seine Beschaffenheit, sein Wasserreichtum wie seine Tiefenlage sind für die Bewohnbarkeit einer Gegend fast ebenso wichtig wie die oberflächliche Bewässerung derselben. Wir gewinnen das Wasser des Bodens, indem wir Brunnenschächte anlegen. Nur wo ein Taleinschnitt die Schichten bis auf den „*Wasserhorizont*“ bloßlegt, sind wir unter normalen Verhältnissen dieser Arbeit enthoben. An solchen Stellen tritt das Wasser in reihenweise angeordneten „*Schichtquellen*“ zutage.

Der Quellenreichtum einer Gegend wird aber ganz wesentlich beeinflusst durch den gestörten Schichtenbau, durch Verschiebungen und Faltungen (tektonischen Aufbau, gr. tektoniké = Zimmermannskunst). Im allgemeinen sind z. B. Gebiete, die auf einem Faltensattel liegen, quellenarm, weil das Grund-

wasser nach beiden Seiten abläuft. In Mulden dagegen strömt es zusammen und steht sogar — wie eine städtische Wasserleitung mit Hochbehälter — unter dem Drucke des Wassers in den Schenkeln. Bohrt man in einer solchen Mulde einen Brunnen, so wird deshalb das Wasser als Fontäne emporgeschleudert: wir haben einen

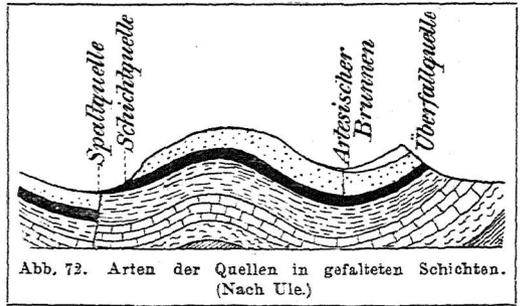
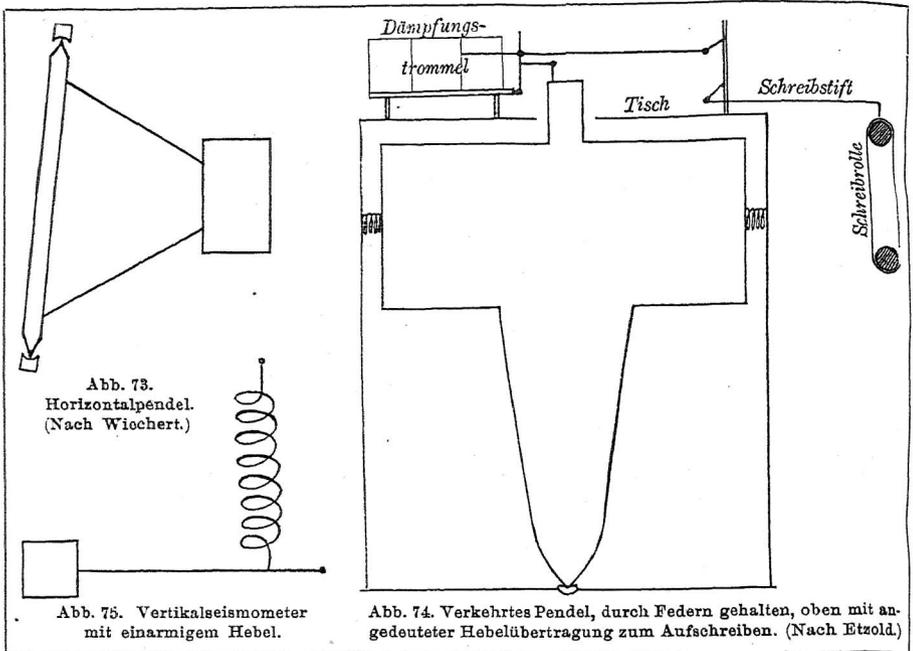


Abb. 72. Arten der Quellen in gefalteten Schichten. (Nach Ule.)

artesischen Brunnen (Abb. 72). Wird die Grundwasserschicht in einer Mulde an einer klaffenden Spalte abgeschnitten, so spritzt dort das Wasser in ganz ähnlicher Weise ohne Mithilfe des Menschen hervor (*Spaltquellen*). Wird die wasserführende Schicht durch ein Tal an einem aufsteigenden Faltschenkel angeschnitten, aber noch so, daß der gegenüberliegende Schenkel oder der Sattel höher als die Austrittsstelle liegt, so erhalten wir eine *Überfallquelle*. Ist die wasserführende Schicht sehr locker (z. B. Sand), und hat sie eine starke Belastung durch überlagernde Massen auszuhalten, so quillt bisweilen nicht nur das Wasser hervor, sondern die ganze Schicht setzt sich als breiige Masse in Bewegung. Hierher gehören die für den Bergbau so gefährlichen *Trieb-sande* (z. B. böhmisches Braunkohlengebiet).

63. Erdbeben. Wenn ein Dampfkessel explodiert, eine Pulvermine in die Luft geht, wenn eine Bergwerkstrecke einstürzt, pflegt in der Nachbarschaft der Boden zu erzittern. Im großen Maßstab wiederholt sich dasselbe Schauspiel in der Natur: Explosionen der Vulkane werden ebenso von Erderschütterungen begleitet wie die Einstürze von Höhlen in den Kalk- oder Gipsgebirgen. Man nennt solche Erschütterungen je nach ihrer Ursache *Explosions- oder Einsturzbeben*. Beide sind jedoch in ihrem Wirkungskreise ziemlich beschränkt. Wenn dagegen im Vogtlande, in den Ostalpen u. a. O. die Erde erbebt, so kann von Explosionen und Einstürzen nicht die Rede sein, sondern die Ursache liegt hier in den von uns gekennzeichneten Schollenbewegungen, besonders den Verwerfungen. Da man Faltungen und Verwerfungen als tektonische Vorgänge zu bezeichnen pflegt, so heißen die damit zusammenhängenden Erdbeben *tektonische Beben*. Sie sind weitaus die häufigsten und wichtigsten auf der Erde.

Die *Äußerungen* eines Erdbebens sind nach Art und Stärke höchst mannigfaltig: Geräusche, wie das Rollen eines Lastwagens über das Pflaster, wie Kettenrasseln oder ferner Kanonendonner; in den Wohnungen Klirren des Geschirrs, Schwanken der Hängelampen und Bilder, Herabfallen von Gegenständen; Risse in den Mauern, die schließlich zum Einsturz von Häusern führen; Schwanken von Fahnenmasten und Bäumen; Herausschleudern von Masten aus dem Boden, Bildung von Rissen in der Erde u. a. Manche Beben sind so schwach, daß sie nur von feinen Instrumenten — den Erdbeben-



messern oder Seismometern (gr. seismós = Erschütterung), z. B. in Straßburg, Göttingen, Leipzig, Plauen — aufgezeichnet werden; andere vernichten in wenigen Augenblicken ganze blühende Ortschaften, z. B. die Erdbeben des Jahres 1906 in Kalabrien und San Franzisko, 1908 in Messina. Alle die verschiedenartigen Einzelercheinungen lassen sich auf *zwei Hauptbodenbewegungen* zurückführen: 1. der Boden wird senkrecht von unten nach oben gestoßen und wieder gesenkt (*Stoßbeben*), oder 2. er macht wellenförmige Schwankungen (*Wellenbeben*). Der *Ausgangspunkt* der Erschütterungen liegt nicht auf der Erdoberfläche, aber auch nicht in unermeßlicher Tiefe, sondern etwa 10—40 km tief in der starren Erdkruste. Von diesem Zentrum aus erreichen die Bewegungen zunächst den senkrecht darüber liegenden Punkt der Erdoberfläche, das „scheinbare Zentrum“; dann breiten sie sich zonenweise um diesen Punkt aus. Die *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* ist auf 2—5 km in der Sekunde festgestellt worden.

Die modernen *Seismometer* oder Seismographen sind im wesentlichen Pendelvorrichtungen mit schweren Gewichten, die in relativer Ruhe bleiben, während in ihrer Umgebung die Bodenteilechen erzittern. Zur vollständigen Aufzeichnung eines Erdbebens gehört die Kenntnis von drei Bewegungsrichtungen: Nord-Süd, West-Ost und das Auf- und Niedersteigen. Die ersten beiden werden durch Horizontalseismometer gemessen, die letzte durch Vertikalseismometer. Bei den Horizontalseismometern verwendet man selten das gewöhnliche, senkrecht hängende Pendel. Es müßte zu lang gemacht werden, um empfindlich zu sein. Besser eignet

sich das sogenannte *Horizontalpendel*, dessen Gewicht sich ähnlich bewegt wie eine Tür in der Angel, nur ein wenig übergeneigt (Abb. 73). Noch empfindlicher ist das *verkehrte Pendel* (Abb. 74), dessen gewaltige, bis 17000 kg schwere Eisenmasse auf einer Spitze balanciert und durch einige Federn im labilen Gleichgewichte gehalten wird. Am oberen

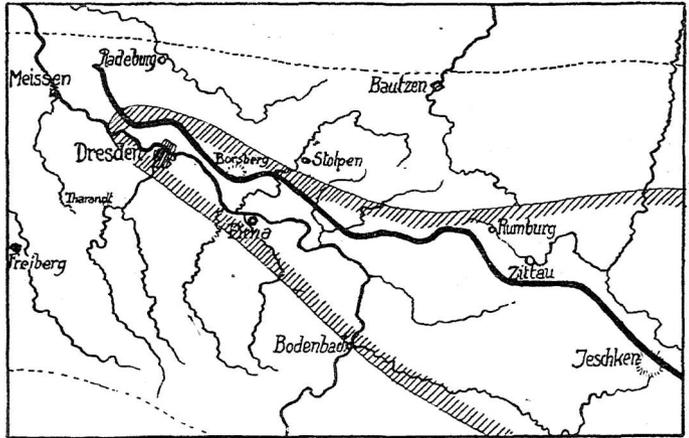


Abb. 76. Karte des mittelsächsischen Erdbebens vom 10. Januar 1901. Die starke Linie zeigt den Verlauf der Lausitzer Hauptverwerfung, der Saum umschließt das Gebiet stärkerer Erschütterung, die punktierte Linie das ganze Schüttergebiet. (Nach Credner.)

Ende trägt es eine Hebelvorrichtung, die mit dem Gestell in Verbindung steht. Die relativen Lageveränderungen werden von einem Schreibstift auf eine Papierrolle übertragen (Seismogramm). Zum Messen der Auf- und Niederbewegungen muß man eine schwere Masse an einer Feder aufhängen, entweder direkt oder so, daß die Feder an einem einarmigen Hebel angreift, dessen Ende das Gewicht trägt (Abb. 75).

Die *Dauer* der Erdbeben beträgt oft nur Sekunden; bisweilen aber häufen sie sich zu „*Erdbebenperioden*“, die jahrelang anhalten können. Gegenden, die viel von Erdrerschütterungen heimgesucht werden, heißen *Schüttergebiete*, z. B. Erzgebirgsabfall, Vogtland, Alpen (namentlich der östliche Abbruch), Süditalien, die Westküste Amerikas, Japan u. a. Wo genauere Untersuchungen möglich waren, hat sich meist ein inniger Zusammenhang zwischen vorhandenen Bruchlinien und den Gebieten stärkster Erschütterungen herausgestellt. So war das letzte mittelsächsische Erdbeben am 10. Januar 1901 genau an den Verlauf der großen „*Lausitzer Hauptverwerfung*“ gebunden (Karte 76).

Aufgaben: Suche Dachschieferstücke, die noch Spuren von Schichtung zeigen. Beobachte Druckklüfte in Steinbrüchen usw. Wo gibt es in deiner Heimat Quellen? Suche festzustellen, was für Gestein die Wasseransammlung verursacht, in welcher Bodenart das Grundwasser sich befindet. Zu welcher Art gehört die betr. Quelle? Ist es eine Schichtquelle, so kannst du mit Hilfe einer geologischen Karte leicht die Stellen angeben, wo vermutlich weitere Quellen zu finden sind, wo also Brunnen mit leichter Mühe angelegt werden können. In welcher Tiefe findet der Brunnenbauer meist Wasser? Wo deckt die städtische Wasserleitung ihren Bedarf? Bringe in ein Glas Schichten von Sand—Ton—Sand, gieße Wasser darüber und beobachte die Undurchlässigkeit der Tonschicht. Gruppiere die Erdbebenäußerungen nach ihrem Stärkegrad. (So hat auch die Wissenschaft eine

Stärkeskala aufgestellt.) Welche Beobachtungen ermöglichen die Feststellung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Richtung? Ein einfaches Instrument, die Richtung festzuhalten, ist ein tiefer Teller, der bis an den unteren Rand mit Wasser gefüllt und mit Sägespänen bestreut ist. Die feuchten Späne bleiben am Tellerrand hängen und geben die Schwankungsrichtung an. Ein bis an den Rand mit Wasser gefülltes Glas leistet ähnliche Dienste. Was kann man aus dem Verlauf der entstandenen Mauerrisse schließen? Sammle bei etwa auftretenden Erdbeben sorgfältig alle Beobachtungen, vor allem auch genaue Zeitangaben und übermittele sie der nächsten Sammelstelle (Zeitungredaktion, besonders ernannte „Erdbebenkommissare“, wie z. B. in Sachsen, Zentralbeobachtungsstationen, wie z. B. in Straßburg, Leipzig, Plauen i. V.). Auf keinem geologischen Gebiete ist die Wissenschaft so auf die Mithilfe der gebildeten Laien angewiesen, wie gerade bei den Erdbebenbeobachtungen!

VI. Die gesteinsbildenden Silikate.

64. Herkunft der Sedimente, Verbreitung der Kieselsäure. In der Natur ist ein ewiger Kreislauf, ein beständiger Wechsel zwischen Aufbauen und Zerstören. Wir sahen, wie aus Absätzen sich Sedimentgesteine auftürmten; aber das Material, aus dem sie sich bildeten, war stets ein *Zerstörungsprodukt*, gleichviel ob es sich um feste Brocken oder im Wasser gelöste Substanzen handelte. Woher stammen diese Trümmer? Gibt es auf der Erde Felsmassen, die nicht die Spuren eines ehemaligen Absatzes zeigen, nicht den Beweis eines allmählichen Aufschichtungsprozesses liefern? Suchen wir in der Natur die Antwort auf diese Frage, so finden wir, daß die Sedimente zwar ungemein weit verbreitet sind, daß sie aber doch nur eine *Decke* bilden, unter der das eigentliche ursprüngliche Gerüst der Erde verhüllt ist. Bis in unbekannte Tiefen reichen jene Gesteine, die weder durch ihre Lagerung noch durch ihre Mineralzusammensetzung auf eine Entstehung mit Hilfe des Wassers hinweisen. Wir nennen sie zum Unterschied von den Sedimenten vorläufig *Massengesteine* — der Granit ist ein allbekanntes Beispiel derselben.

Fragen wir nach der chemischen Zusammensetzung dieses mächtigsten Teiles der Erdkruste, so finden wir neben dem Sauerstoff als verbreitetsten Körper das Element *Silizium*. Sein Oxyd, SiO_2 , die wasserfreie Kieselsäure oder Kieselerde, gehört unter dem Namen *Quarz* zu den wichtigsten Mineralien (40). Weit häufiger aber geht die Kieselsäure Verbindungen mit den Metalloxyden ein und bildet *kieselsaure Salze* oder *Silikate*. Diese sind die Hauptbestandteile aller Massengesteine. Die einfachen Silikate sind selten; meist treten deren mehrere als *Doppelsilikate* oder noch höher zusammengesetzte Verbindungen auf. Die chemische Natur solcher Mineralien ist dann sehr schwer in Formeln zu fassen, und wir werden uns begnügen, sie in einfache Oxyde zu zerlegen. Zur Erleichterung des Verständnisses geben wir zunächst einige wasserfreie und wasserhaltige Silikate.

65. Einfache wasserfreie Silikate. Die wichtigsten derselben sind folgende:

Kaliumsilikat, $2 K_2O, SiO_2$. Man erhält es künstlich durch Zusammenschmelzen von Quarzsand SiO_2 mit Pottasche K_2CO_3 , wobei das Kohlendioxyd entweicht und ein weißes Pulver entsteht. Die sirupdicke Lösung desselben kommt als Wasserglas in den Handel; als sehr verdünnte Lösung wandert es *im Wasser des Ackerbodens*.

Natriumsilikat, $2 Na_2O, SiO_2$. Es liefert ebenfalls Wasserglas und befindet sich gelöst im Bodenwasser.

Kalziumsilikat, CaO, SiO_2 . Das kieselsaure Kalzium kommt rein in der Natur kaum vor; er ist ein unlösliches Pulver, das in den Doppelsilikaten oft enthalten ist.

Aluminiumsilikat, Tonerdesilikat, kieselsaure Tonerde, Al_2O_3, SiO_2 . Unter dem Namen *Andalusit* bildet diese Substanz ein Mineral, das in Säulen mit rhombischem, aber fast rechtwinkligem Querschnitt kristallisiert, am häufigsten aber in kleinen dunklen Nadelchen in manchen Schiefen verstreut ist (*Andalusitglimmerschiefer*).

Magnesiumsilikat, MgO, SiO_2 kommt rein in der Natur kaum vor, wohl aber oft verunreinigt mit dem folgenden

Eisenoxydulsilikat, FeO, SiO_2 . Dieser Stoff, der die Weinflaschen grün färbt, dient auch in den Mineralien oft als *Färbemittel*, z. B. im

Olivin, einem Gemisch von Magnesiumsilikat mit wechselnden Mengen von kieselsaurem Eisenoxydul. Als dunkelgrüne bis gelbgrüne, körnige Masse kommt Olivin oft nesterweise im Basalt (81) vor und kann daher gelegentlich auf den Schotterhaufen an Basaltstraßen gesammelt werden. Die Kristalle sind meist kurze, flächenreiche rhombische Säulen.

66. Wasserhaltige Silikate.

Talk: *Wasserhaltiges Magnesiumsilikat*, $3 MgO, 4 SiO_2, H_2O$. Weiche schuppige oder blättrige Stücke, die sich fettig anfühlen und leicht mit dem Fingernagel ritzen lassen. Ihre Farbe ist weißlich bis lichtgrün. Bisweilen bildet der Talk ganze schieferige Gebirgsmassen, z. B. *Talkschiefer* im Fichtelgebirge, in den Alpen. Man verwendet Talk als Puder, Schminke, Streupulver, Maschinenschmiere oder Glättmittel für Leder.

Speckstein, nur eine dichte Abart des vorigen, die zu ähnlichen Zwecken verwendet wird, außerdem als Schneiderkreide, Grundmasse für Buntstifte, Gasbrenner und als Rohstoff für kleine Bildsäulen.

Meerschaum, chemisch dem Talk ähnlich ($2 MgO, 3 SiO_2, 2 H_2O$) kommt fast ausschließlich aus Kleinasien zu uns, aus der Gegend von Eski-Schehir. Dort hackt man Gruben und Schächte in eine rotgelbe, tonige Schicht, in und unter welche der Meerschaum in unregelmäßigen Knollen eingebettet ist. Diese sind naß, schwer, grünlichgelb und lassen sich schneiden wie Seife. Man befreit sie vom Schmutz, trocknet sie an der Sonne oder in geheizten Räumen, wobei sie schneeweiß und so porös werden, daß sie auf dem Wasser schwimmen können. Schließlich werden sie noch mit Wachs poliert und so

zu uns gebracht, meist nach Wien und in das thüringische Städtchen Ruhla. Dort erfolgt die weitere Bearbeitung zu Pfeifenköpfen und Zigarrenspitzen, indem man die Stücke schneidet, drechselt und dann in Rindstalg, Wachs oder Öl siedet. Dies gibt der Oberfläche den zarten Glanz und — nach dem Anrauchen — den gelben oder braunen Ton.

Serpentin. Auch der Serpentin ist in der Hauptsache *wasserhaltiges Magnesiumsilikat*; aber da er durch große Mengen *Eisenoxydul* (bis 13%) verunreinigt ist, besitzt er meist dunklere Farbtöne: Gelb, Grün, Rot in mannigfachem Wechsel. Meist sind zahlreiche Körner anderer Mineralien eingesprengt, z. B. blutrote Granate (111). Untersucht man ihn mikroskopisch, so findet man auch zahlreiche rissige Kristalle von Olivin oder anderen magnesiahaltigen Silikaten darin, und die zahlreichen Übergänge beweisen, daß Serpentin überhaupt kein ursprüngliches Gestein oder Mineral ist, sondern sich erst durch *nachträgliche (sekundäre) Umwandlung* aus den genannten Mineralien gebildet hat (Abb. 77) (104).

Man unterscheidet zahlreiche Abarten des Serpentin, z. B.:

- a) *Edeln Serpentin*, hellgelb bis grün, an den Kanten durchscheinend.
- b) *Gemeinen Serpentin*, dunkelfarbig, ganze Felsmassen bildend.
- c) *Faserserpentin*, die zahlreichen Spalten im vorigen ausfüllend, zusammengesetzt aus grüngoldig schimmernden, parallelen Fäserchen, die rechtwinklig zur Kluftrichtung stehen (vgl. Fasergips, Abb. 26). Stücke mit gebleichten langen Fasern nennt man *Serpentinasbest* (gr. *ásbestos* = unverbrennlich). Sie dienen zur Herstellung feuerfester Topfuntersetzer, Topflappen, zur Dichtung von Dampfrohrverbindungen, zu Christbaumschnee usw.

Altberühmte *Fundorte* sind Zöblitz im Erzgebirge, Waldheim im sächsischen Mittelgebirge, Reichenstein in Schlesien, für Asbest Kanada. Wegen seiner geringen Härte (Kalkspathärte), der buntscheckigen Farben, der hohen Politurfähigkeit ist der Serpentin schon lange ein beliebtes Material für Säulen und Geländer, Urnen, Wärmesteine, Mörser, Schreibzeuge, Spielwürfel und tausenderlei andre Dinge. In Zöblitz wird er teils in offenen Brüchen, teils unterirdisch gewonnen. Die großen Blöcke werden, solange sie noch „bergfeucht“ sind, nach dem Verlauf der vorhandenen Risse zerkleinert. Diese Stücke kann man dann im trockenen Zustande sägen, drechseln, hobeln, polieren wie weiches Metall. Da die beigemischten harten Granate die Sägen zerstören, verwendet man nur Stücke, in denen diese in eine weichere, grünliche Masse (*Chlorit*) (gr. *chlorós* = grün) (69, 106) umgewandelt sind.

Zusammengesetzte gesteinbildende Silikate.

67. Feldspat. Der Feldspat ist einer der häufigsten Gesteinsgemengteile, z. B. im Granit und Gneis. Seine Farbe ist rein weiß, fleischrot (durch Eisenoxyd), seltener grau, grünlich oder schillernd. Er ist etwa so *hart wie Stahl*, wird also vom Messer nicht mehr geritzt, erzeugt aber meist am Stahl noch keine Funken. Im Gestein erkennt man ihn am besten an den glatten Spal-

tungsflächen, die spiegeln oder wie Perlmutter glänzen. Zertrümmert man größere Stücke, so erhält man stets wieder diese glatten Bruchflächen, daher der Name „Spat“.

Der Chemiker kann im Feldspat stets mindestens drei verschiedene Oxyde unterscheiden, nach denen wir folgende Hauptarten erhalten:

- a) *Kalitonerdesilikat*, *Kalifeldspat* ($K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$);
- b) *Natronerdesilikat*, *Natronfeldspat* ($Na_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$);
- c) *Kalktonerdesilikat*, *Kalkfeldspat* ($CaO, Al_2O_3, 2SiO_2$).

Die letzteren beiden Arten kommen meist gemischt — und zwar in den verschiedensten Prozentverhältnissen — vor und bilden den:

d) *Kalknatronfeldspat* ($CaO, Na_2O, Al_2O_3, xSiO_2$). Solche Mischungen aus chemisch ähnlichen und kristallographisch übereinstimmenden Mineralien heißen *isomorphe Mischungen*. (39.)

Die vier chemischen Abarten lassen sich durch Kristallformen, Farbe und Spaltbarkeit unterscheiden:

1. *Monokliner Kalifeldspat, Orthoklas*. Er ist meist weißglänzend oder rötlich. Eine der häufigsten Kristallformen zeigt zwei Paar senkrechte Prismenflächen, zwei große seitliche sowie oben und unten zwei verschieden steil geneigte Flächen (Abb. 78). Ein Schnitt, parallel zu der Seitenfläche durch die Prismenkanten geführt, teilt den Kristall in zwei spiegelbildlich gleiche (*symmetrische*) Hälften. Die sanfter geneigte Deckfläche und die Seitenflächen geben die Richtungen an, in denen die Kristalle sich ausgezeichnet spalten lassen, und da diese beiden Flächen rechtwinklig aufeinander stehen, erhalten wir leicht jene *rechtwinklig begrenzten Spaltungsstücke*, die dem Orthoklas seinen Namen gegeben haben (gr. orthós = recht, gerade, kláo = ich spalte). Bisweilen sind zwei solche Kristalle in verwendeter Stellung als „*Karlsbader Zwillinge*“ verwachsen (Abb. 79). Große fleischfarbige Spaltungsstücke von norwegischem Kalifeldspat bilden ein wichtiges Rohmaterial der Porzellan- und Steingutfabriken (Tafel I, 4).

Besonders reine, wasserklare Kristalle, wie sie in Hohlräumen der alpinen Granite oder Urschiefer auftreten, heißen *Adular* oder *Eissspat*. Stücke mit einem bläulichen Lichtschein werden unter dem Namen *Mondstein* zu Schmucksachen verarbeitet. Eine glasige, weiße, etwas durchscheinende Abart des Orthoklas kommt unter dem Namen *Sanidin* in der Lava mancher Vulkane vor (gr. sanis = Brett, weil die Kristalle häufig brettähnlich flach sind).

2. *Trikliner Kalknatronfeldspat, Plagioklas*. Hierher gehören die oben unter b und c aufgeführten chemischen Abarten und ihre isomorphen Mischungen, also:

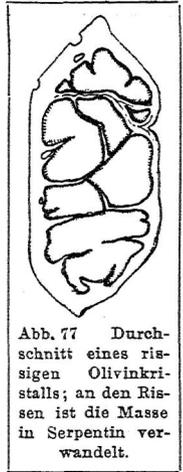


Abb. 77 Durchschnitt eines risigen Olivinkristalls; an den Rissen ist die Masse in Serpentin verwandelt.

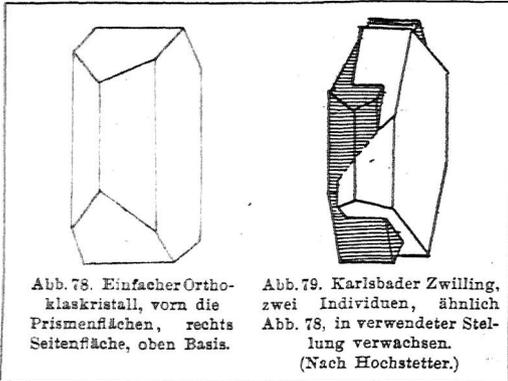


Abb. 78. Einfacher Orthoklaskristall, vorn die Prismenflächen, rechts Seitenfläche, oben Basis.

Abb. 79. Karlsbader Zwillings, zwei Individuen, ähnlich Abb. 78, in verwendeter Stellung verwachsen. (Nach Hochstetter.)

a) *Natronfeldspat*, *Albit*.

Die Kristalle sind oft ganz ähnlich den angegebenen Orthoklasformen, aber der Winkel zwischen der vorderen Deckfläche und der Seitenfläche beträgt 93° (daher gr. plagios = schief). Solche Kristallformen gehören in das *trikline* System. (160.) Sind die Kristalle als Tafeln ausgebildet und treten in großer Zahl, mit den Seitenflächen aneinanderstoßend, zu

Zwillingen, richtiger *Viellingen*, zusammen, so bilden die Endflächen auf- und abstehende Begrenzungen. Größere Albitbruchstücke sind oft aus lauter dünnen Zwillingenplättchen zusammengesetzt und zeigen dann eine *geriefete Oberfläche* („Zwillingsstreifung“) — ein gutes Unterscheidungsmerkmal gegenüber der vorigen Art. Die Farbe ist meist weiß (lat. albus = weiß) oder wasserklar.

b) *Kalkfeldspat*, *Anorthit*. Die Kristalle sind kurze, flächenreiche Säulen, die ebenso wie der Albit die rechtwinklige Spaltbarkeit entbehren (gr. anorthos = Gegenteil von orthos, also schiefwinklig). Chemisch rein tritt er verhältnismäßig selten auf.

c) *Kalknatronfeldspat*. Je nach der chemischen Zusammensetzung der Mischung unterscheidet man verschiedene Unterarten, z. B.

α) *Oligoklas* (gr. oligos = wenig, weil der 93° -Winkel nur wenig vom R abweicht) enthält viel Natron und wenig Kalk; meist deutliche Zwillingsstreifung, grau bis grünlichweiß, selten stark glänzend, dagegen häufig durch beginnende Umwandlung trüb.

β) *Labradorit* (nach dem Hauptfundorte Labrador) enthält wenig Natron und viel Kalk, zeigt oft prächtigen Farbenschiller, weswegen er bisweilen Verwendung als Schmuckstein findet.¹⁾

Verhältnismäßig selten tritt der Kalifeldspat im *triklinen* System kristallisierend auf. Hierher gehört der schön grün gefärbte *Amazonenstein*.

68. Verwandte des Feldspates. 1. *Leucit*. Er besteht aus K_2O , Al_2O_3 , $4SiO_2$, ist also dem Orthoklas chemisch nahe verwandt. Seine weißen (gr. leukós = weiß) Kristalle zeigen fast stets die Form des *Vierundzwanzigflächners*, der von 24 gleichen Vierecken (Deltoiden) begrenzt und bisweilen geradezu *Leucitoeder* genannt wird.²⁾ In der Lava des Vesuvs treten die Leucite als rundliche weiße Flecken deutlich hervor, ähnlich am Laacher See. Bei Ober-

1) Der prächtige dunkle und stark schillernde Stein, der unter dem Namen Labrador häufig an Fassaden verwandt wird, ist ein norwegischer Natronsyenit oder Rhombensyenit.

2) Die Form ist aber nur scheinbar regulär!

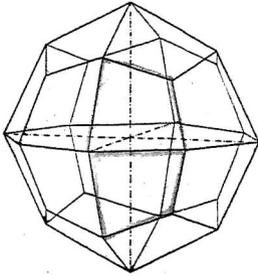


Abb. 80. Vierundzwanzigflächner
oder Leucitoeder

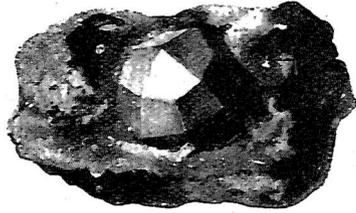


Abb. 81. Großer Leucitkristall in Vesuvlava
(Orig. Dresd. Hochsch.)

wiesenthal im Erzgebirge liegen große, aber stark zerfressene Kristalle auf den Feldern; sie stammen aus einem Basaltgestein (Abb. 80, 81).

2. *Nephelin*. Dieses Silikat enthält hauptsächlich Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , entspricht also dem Natronfeldspat. Seine weißen Kristalle bilden einfache sechsseitige Säulen, oder sie zeigen an den Prismenenden kleine Ansätze zu Pyramidenflächen (Abb. 49). Sieht man die kurzen Säulchen als Gesteinsgemengteil im Längsbruche, so erscheinen sie als dem Quadrate nahekommende Rechtecke. In dieser Form sind sie ein Hauptbestandteil des Klingsteins (Phonolith) (83) und mancher Basalte (81), besonders groß am Löbauer Berg in der Lausitz. Noch schöner sind sie im Nephelinporphyr des Katzenbuckels im Odenwald. Farblose und klare Splitter werden in Salpetersäure trübe; dieser chemischen Untersuchungsmethode verdankt das Mineral seinen Namen (gr. *nephéle* = Nebel, Wolke).

69. *Glimmer*. Glimmern bedeutet glänzen; alle Glimmerarten bilden stark glänzende Blättchen oder Tafeln. Wir finden sie überaus häufig als Bestandteil gemengter Gesteine, und als Überbleibsel zerstörter Felsmassen glitzern sie oft auf dem Grunde der Bäche — man nennt sie im Volke Katzensilber oder Katzensgold. Kristalle sind selten; es sind dann *sechseckige Säulen oder rauh begrenzte Tafeln*, die sich parallel zur Grundfläche leicht spalten lassen. Der Glimmer ist so *weich*, daß er fast noch vom Fingernagel geritzt wird. Chemisch enthält er außer K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 stets noch Magnesia, MgO , und Eisenoxyd, Fe_2O_3 (oder Eisenoxydul, FeO). Die Hauptarten sind:

1. *Kaliglimmer, Muskovit*. Der Magnesia- und Eisengehalt ist gering; daher sind reine Tafeln vollkommen *durchsichtig*, und man kann sehr großblättrige Stücke zu Fensterscheiben, Schutzbrillen u. a. verarbeiten. Die große *Biegsamkeit* gestattet, den Glimmer auch zu Lampenzylindern zusammenzurollen, und die bedeutende *Elastizität* macht die Glimmerwaren haltbarer als Glas. Für gewerbliche Zwecke eignet sich der Kaliglimmer vom Ural (daher der Name: Muskovien = Rußland), von Kanada und Indien. Seit kurzem liefert auch Deutsch-Ostafrika technisch verwertbaren Glimmer. Ganze Gebirgs-

massen bestehen aus *Muskovitschiefer*, in dem linsenförmige Quarze von den Glimmerblättchen umschmiegt sind (136). (Tafel I, 6.)

2. *Magnesiaglimmer*. *Biotit*. (Nach dem französischen Physiker Biot benannt.) Das Kali tritt zurück; die Magnesia beträgt 10—30%, das Eisenoxyd steigt bis 25% und verleiht dem Biotit die *braune bis schwarze* Farbe. Da er undurchsichtig ist, kann er technisch nicht verwendet werden. Aber als Bestandteil des Granits und anderer körniger Gesteine spielt er eine große Rolle.

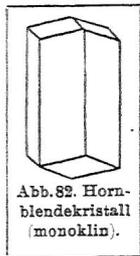


Abb. 82. Hornblende-kristall (monoklin).

3. *Lithionglimmer*, mit einem Gehalt an Fluor und Lithium, färbt die Flamme tiefrot. Er kommt namentlich auf Zinnerzlagernstätten vor, z. B. bei Zinnwald im Erzgebirge.

4. *Chlorit*. Chemisch zwischen dem Glimmer und dem Kalk stehend, von ersterem durch Wassergehalt und das Fehlen der Alkalien (K_2O , Na_2O) unterschieden, von letzterem durch den Gehalt an Tonerde (Al_2O_3) und den Eisenreichtum. Der Chlorit sieht meist dunkelgrün aus (gr. chlorós = grün) und weist ähnliche Kristallblättchen und gleiche Spaltbarkeit auf wie der Glimmer. Die Blättchen sind biegsam, aber *nicht elastisch*. In feinen Schuppen oder als Pulver tritt Chlorit in Gesteinsspalten auf. *Chlorit-schiefer* sind unvollkommen schieferige, bisweilen etwas seidenartig glänzende Felsmassen, die aber durchaus nicht reinen Chlorit darstellen.

70. *Hornblende und Augit*. Diese beiden Mineralien sind einander so ähnlich, daß sie sich durch Farbe und chemischen Gehalt gar nicht, durch Kristallform nur wenig unterscheiden. Sie bestehen in der Hauptsache aus MgO , CaO , FeO , SiO_2 . Dazu treten in den zahlreichen Abarten auch Na_2O , Al_2O_3 . Die Farbe ist meist *grün bis schwärzlich*. Durch die *größere Härte* (wie Stahl) unterscheiden sie sich vom Glimmer und Chlorit, durch ihr *ziemlich hohes Gewicht* von den hellen, eisenarmen Feldspatarten. Wir nennen nur die wichtigsten Abarten:

1. *Gemeine Hornblende, Amphibol*. Sie ist fast schwarz; ihr Ritzpulver erscheint grünlichgrau. Die Kristalle sind meist kurze, dicke Säulen mit sechs Flächen und einem flachen Dach aus drei Rhomben. (Abb. 82.) Sie glänzen wie lackiert. Kleine, im Gestein (z. B. Syenit) sitzende Körnchen verlieren auf den Bruchflächen schnell ihren Glanz, und ihr rußiges Aussehen unterscheidet sie von den stets glänzenden Biotitblättchen. Bisweilen bildet die Hornblende auch lange, parallel oder strahlig angeordnete Nadeln. Die dickeren Kristalle sind sehr gut spaltbar und zeigen zahlreiche Risse, die sich im Winkel von $124\frac{1}{2}^\circ$ schneiden. Bisweilen setzt die Hornblende ganze Felsmassen von großer Härte zusammen, die nach der Anordnung der Bestandteile entweder als *Hornblendefels* oder *Hornblendeschiefer* (*Amphibol-schiefer*) bezeichnet werden (gr. amphibolos = zweideutig, weil Hornblende sich leicht mit Turmalin u. a. Mineralien verwechseln läßt).

2. *Strahlstein. Aktinolith*. Diese grüne, etwas durchscheinende Abart der Hornblende bildet stengelige Massen, deren einzelne Nadeln (gr. aktis = Strahl)

oft scharf stechen. Wenn sie verwittern, werden sie immer heller und bilden schließlich weiße, biegsame Fasern, die man als *Hornblendeasbest* bezeichnet. Zur technischen Verwertung sind sie meist zu spröde.

3. *Gemeiner Augit, Pyroxen*. Die grünen bis schwarzen Kristalle sind ebenfalls oft kurze dicke Säulen; aber sie zeigen meist *achteckigen Umriß* und ein geneigtes Dach aus zwei Flächen (Abb. 83). Das Ritzpulver ist grünlichbraun. Kleine Augitkristalle

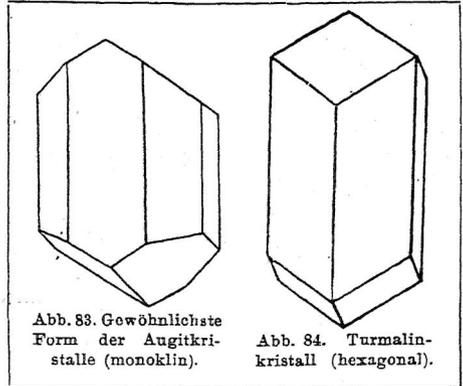


Abb. 83. Gewöhnlichste Form der Augitkristalle (monoklin).

Abb. 84. Turmalinkristall (hexagonal).

bilden die Hauptmasse der dunklen Lavagesteine. Der schwarze Basalt (81), der schon in der Grundmasse zahllose Augitkristalle aufweist, enthält meist auch größere glänzende Körner desselben Minerals, die sich stets deutlich abheben (daher der Name, gr. *augē* = Glanz; der jetzt mehr gebräuchliche Name *Pyroxen* setzt sich zusammen aus gr. *pyr* = Feuer, *xénos* = Fremdling, weil man früher annahm, daß sich seine Kristalle nur im Wasser bilden könnten). (Tafel I, 5.)

4. *Diallag*. Dieser braune oder schmutziggrüne Augit bildet nie Kristalle, sondern derbe Tafeln, die sich leicht in dünnere Blätter spalten lassen und deshalb bisweilen *Blätteraugit* genannt werden. Sein Hauptkennzeichen ist der *metallartige, oft schillernde Glanz* (gr. *diallagē* = Verschiedenheit, wegen der ungleichen Spaltbarkeit in den Hauptrichtungen).

Mit der Hornblendefamilie steht nach Aussehen und chemischer Beschaffenheit in näherer Beziehung der

5. *Turmalin, Schörl*. Er bildet oft schwarze Säulen, die auf den ersten Blick den bei der Hornblende abgebildeten ähneln (Abb. 84). Häufiger sind langgestreckte, aus einzelnen Strahlen zusammengesetzte Formen mit abgerundet *dreikantigem Umriß*. In Gesteinen setzt der Turmalin bisweilen sternartig angeordnete, strahlige Gebilde zusammen, die von den Steinbrechern *Sonnen* genannt werden. (Säulenförmige Einsprenglinge heißen *Teufelsfinger*.) Der chemische Gehalt ist überaus wechselnd; neben Al_2O_3 , MgO , FeO , SiO_2 tritt als merkwürdiger Gemengteil die wasserfreie *Borsäure* B_2O_3 auf. Die Härte übertrifft noch die des Quarzes.

Bisweilen tritt der Turmalin auch grün, braun, rot, rosa oder fast farblos auf. Manche Kristalle erscheinen in anderer Farbe, je nachdem man sie von der Seite oder von oben her betrachtet. Diese Eigentümlichkeit nennt man *Dichroismus* (gr. *di* = zweimal, *chrōs* = farbig). Wie der Kalkspat besitzt auch der helle Turmalin ausgezeichnete Doppelbrechung. Schön gefärbte Turmaline sind jetzt als Edelsteine ziemlich gesucht.

Aufgaben: Welche gesteinbildenden Mineralien sind bereits in den früheren Abschnitten behandelt? Ordne die wichtigsten Gesteinsgemengteile nach Farbe in helle und dunkle, nach Spaltbarkeit und Bruch in blättrig und unregelmäßig



Abb. 85. Dünnschliff durch den Granit von Strehla. Links getrüübter Orthoklas, mitten klarer Quarz, rechts zwei Biotitblättchen. Im Feldspat schmale Apatitleisten im Längsschnitt, im Glimmer ein Zirkon. 20 f. vergr. (Orig. d. Verf.)

brechende. Welche Mineralien könnten nach ihrer Kristallform verwechselt werden? Welche zeichnen sich durch Eisen- gehalt oder Eisenarmut aus? Welche durch große Härte? Wie unterscheidest du Feldspat und Quarz, Biotit und Hornblende, Turmalin und Hornblende, wenn sie als Gesteinsgemengteile auftreten?

VII. Die Massengesteine.

Der Granit

als Typus eines Massengesteins.

71. Gemengteile. Granit besteht nicht wie der Marmor aus untereinander gleichartigen Mineralkörnern, sondern er ist ein *gemengtes Gestein*. Seine *Hauptgemengteile* sind Quarz,

Feldspat und *Glimmer*. Der Quarz bildet rauchgraue, unregelmäßig umgrenzte Körner. Vom Feldspat überwiegt der Kalifeldspat oder Orthoklas, dessen glatte, spiegelnde Tafeln meist rötlich oder weiß gefärbt sind. Tritt Kalknatronfeldspat oder Plagioklas auf, so unterscheidet er sich im allgemeinen durch weißlichgrüne Farbentöne, mattere Flächen und das Auftreten paralleler Zwillingstreifen. Die glänzenden Glimmerblättchen gehören entweder dem dunklen, fast schwarzen Magnesiaglimmer (Biotit) oder seltener dem silberweißen Kaliglimmer (Muskovit) an.

Als *Nebengemengteile* treten bisweilen hinzu: schwarze, rußige Säulchen von *Hornblende*, lange, schwarzglänzende Nadeln oder „Sonnen“ von *Turmalin*. In mikroskopisch kleinen Kriställchen ist überaus häufig der phosphorhaltige *Apatit* (40), ausgeschiedenes Eisenerz und ein sehr harter Verwandter des Quarzes, der *Zirkon* (ZrO_2) (Abb. 85 und Tafel II, 7).

72. Gefüge (Struktur). Die einzelnen Gemengteile treten bisweilen in großen, deutlich begrenzten *Kristallen* auf, z. B. der Feldspat, noch besser die mikroskopisch kleinen Nebengemengteile. Andere Körner haben zwar keine ausgesprochene Kristallform, beweisen jedoch durch einzelne ebene Flächen, durch ihre Spaltbarkeit, daß sie zwar die Neigung gehabt hatten, zu kristallisieren, daß die einzelnen, eng gedrängten Gemengteile sich aber gegenseitig in der Ausbildung gehindert haben. Der Quarz erweist sich schließlich oft als reine *Ausfüllungsmasse*, die sich den *fremden* Kristallformen anschmiegt. Man nennt solche Gesteine, die ganz oder teilweise aus Kristallkörnern zusammengesetzt sind, *kristallinisch*.

Sind die einzelnen Kristallkörner ungefähr von gleicher Größe, so nennt man das *Gefüge* oder die *Struktur richtungslos-körnig*. Diese Struktur ist beim



Abb. 86. Granit von Brambach i. V. mit Klüften parallel der Felsoberfläche (Verwitterungsklüfte).
(Phot. v. Verfasser.)

Granit am häufigsten (lat. granum = Korn). Man sieht aber oft, daß der körnige Granit an einzelnen Felspartien seine Glimmerblättchen mehr und mehr parallel stellt, so daß das Ganze an ein Schichtgestein erinnert; das nennt man *Parallelstruktur* oder *Gneisstruktur*. Sind die Hauptmassen der Körner nur von winziger Größe, einige wohl ausgebildete Kristalle („*Einsprenglinge*“), aber von auffällig großem Ausmaß, so heißt das Gefüge *porphyrisch* (80).

73. Mikroskopische Untersuchung der Gesteine. Will man sich über Mineralbestand und Gefüge der Gesteine — besonders der feinkörnigen und dichten Arten — klar werden, so genügt keineswegs die Besichtigung mit unbewaffnetem Auge oder mit der Lupe. Hierzu gehört mikroskopische Untersuchung. Man schlägt zu diesem Zwecke einen möglichst dünnen Gesteinssplitter etwa von der Größe eines Markstückes ab. Dieser wird auf einer Eisenplatte mit grobem und feinem Schmirgelpulver einerseits eben und dann auf einer Glasplatte mit Schmirgelmehl glatt geschliffen. Die glatte Seite wird mit Kanadabalsam auf ein Stück Fensterglas aufgekittet und nun auf der entgegengesetzten Seite abgeschliffen. Schließlich bleibt nur ein Blättchen von ungefähr $\frac{1}{15}$ mm Dicke übrig. Dieses kittet man auf einen Objektträger und schützt es durch ein Deckgläschen. In einem solchen „Dünnschliff“ erscheinen fast alle Mineralgemengenteile durchsichtig und lassen sich im durchfallenden Lichte untersuchen. Meist benutzt man kein gewöhnliches Mikroskop, sondern ein solches mit Einrichtung zum „Polarisieren“ des Lichtes (Kalkspatstücke über und unter dem Objekt). Die Abbildungen 18, 85, 89, 91 sind vergrößerte Darstellungen solcher Dünnschliffe.



Abb. 87. Fichtelgebirgsgranit mit zwei sich kreuzenden Kluftsystemen und kugelige Absonderung.
(Phot. vom Verfasser.)

74. Absonderung. Überblickt man einen größeren Granitbruch, so erkennt man, daß eine Einteilung in Schichten völlig fehlt. Aber trotzdem stellt das Gestein keine einheitliche Masse dar, sondern ist von langen Rissen oft derartig durchzogen, daß unter Umständen der Eindruck einer Schichtung hervorgerufen werden kann. Laufen diese Risse geradlinig und untereinander annähernd parallel, so sagt man: der Granit ist *bankförmig abgesondert* (Abb. 86).

In Granitgebieten macht man sehr häufig die Erfahrung, daß die Absonderungsklüfte und die Gesteinsbänke ungefähr parallel der Felsoberfläche liegen. Nach der Tiefe rücken dann die Klüfte immer weiter auseinander, die Bänke werden „mächtiger“, die Risse immer feiner. Schließlich sind sie für das bloße Auge gar nicht mehr wahrnehmbar; nur der Steinbrecher kennt sie genau; denn er kann in ihrer Richtung das Gestein am besten zerteilen. Er nennt die feinen Risse oder jene zum Spalten geeignete Richtung *Lose* oder *Gare*. Da der Verlauf jener Bänke den Formen der *heutigen* Felsoberfläche folgt, also von dieser abhängig zu sein scheint, müssen die Klüfte jünger als die Felsform sein und können sich nicht während der Entstehung des Granits gebildet haben (Abb. 86).

Bisweilen treten zu den nahezu wagerechten Klüften auch noch senkrechte, so daß der Granit in würfelförmige oder rhomboedrische Blöcke zerlegt ist (*kubische Absonderung*, vom lat. *cubus* = Würfel). Stellenweise (z. B. im Fichtelgebirge) sind im Granit elliptische oder kugelförmige Klüfte, so daß Zeichnungen wie eine Schützenscheibe entstehen (Abb. 87).

75. Abarten des Granits. Die Granite bilden eine ganze Familie von Gesteinen, die sich durch ihre Zusammensetzung, Struktur usw. unterscheiden. Folgende Übersicht soll zeigen, wie man sich unter Berücksichtigung der einzelnen Merkmale selbst die Namen für die Abarten bilden kann. Wir unterscheiden die Granite nach:

a) *Struktur.*

1. *Körniger Granit.*

α) feinkörnig,

β) mittelkörnig,

γ) grobkörnig,

δ) Riesengranit, Pegmatit (bisweilen mehr als metergroße Kristalle).

2. *Porphyrischer Granit.*

3. *Flasergranit* (die Glimmerblättchen zeigen Andeutung von Parallelstellung).

4. *Gneisähnlicher Granit.* Die schieferig ausgebildeten Gneise, die im Erzgebirge, Riesengebirge, Schwarzwald, in den Alpen weite Strecken zusammensetzen, rechnete man früher zu den Sedimentgesteinen. Ein großer Teil derselben zeigt aber alle Übergangsstufen bis zum richtungslos-körnigen Granit, so daß beide Gesteine auch dieselbe Entstehungsgeschichte haben müssen.

5. *Granulit.* Im Sächsischen Mittelgebirge ist unter diesem Namen ein ausgesprochen lagenförmig ausgebildetes Gestein verbreitet, das hauptsächlich aus Quarz und Feldspat besteht. Hierzu treten häufig Biotit (Biotitgranulit), Granate (Granatgranulit). Aber auch dieses Gestein ist nur eine randliche Ausbildungsform des Granites, der in größerer Tiefe völlig sein gewöhnliches Aussehen annimmt (Abb. 88).

b) *Glimmergehalt.*

1. *Biotitgranit, Granit.*

2. *Muskovitgranit.*

3. *Zweiglimmergranit, gewöhnlicher Granit.*

c) *Farbe des Feldspates* (bei Steinbrechern übliche Einteilung).

1. *Blauer* (eigentlich weiß und schwarz gefleckter) Granit.

2. *Roter.*

d) *Nebengemengteilen.*

1. *Hornblendegranit.*

2. *Augit- oder Pyroxengranit.*

3. *Turmalingranit.*

e) *Fundorten* (wenn das Aussehen auf weite Strecken gleich bleibt, z. B.):

1. *Lausitzer Granit*, schwarz und weiß gefleckt, mittelkörnig, wichtiges Baumaterial für ganz Norddeutschland.

2. *Riesensteingranit*, rötlich, quarzreich, glimmerarm, vom Riesenstein bei Meißen, wird auf der Elbe weithin verfrachtet, für Grabsteine usw.

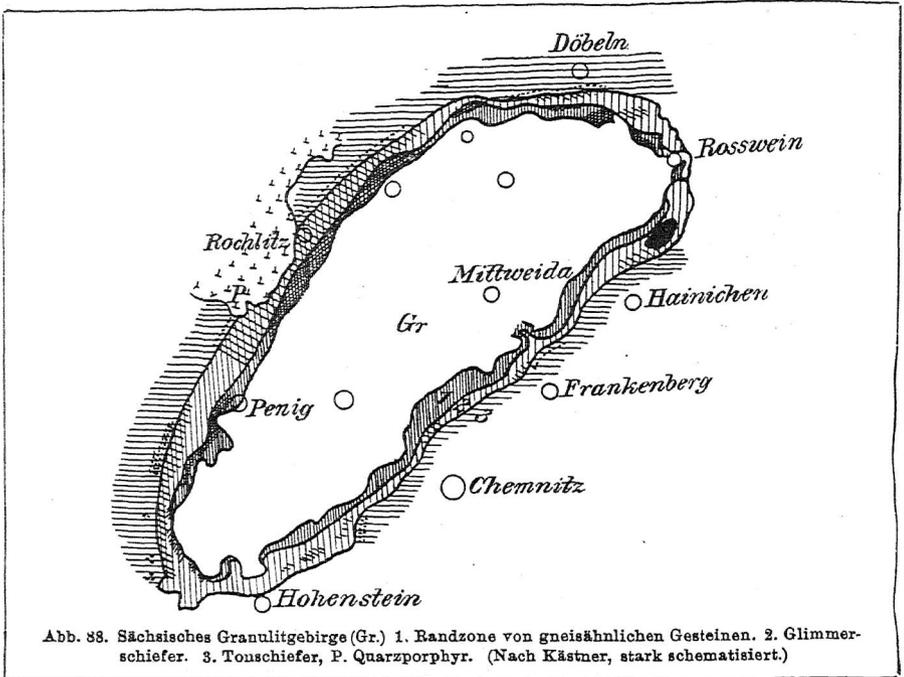


Abb. 38. Sächsisches Granulitgebirge (Gr). 1. Randzone von gneisähnlichen Gesteinen. 2. Glimmerschiefer. 3. Tonschiefer, P. Quarzporphyr. (Nach Kästner, stark schematisiert.)

3. *Eibenstocker Granit*, turmalinreich im westlichen Erzgebirge.
4. *Fichtelgebirgsgranit*, porphyrisch mit fingerlangen, weißen Orthoklaskristallen.

Der Granit bildet nebst dem Gneis vielfach den Kern unserer Mittelgebirge (Schwarzwald, Wasgau, Odenwald, Böhmerwald, Erzgebirge u. a.) sowohl als der Alpen.

Andere körnige Massengesteine.

76. **Syenit.** Der gewöhnliche Syenit (*Hornblendesyenit*) ist ein körniges Gemenge von weißem oder fleischrotem Orthoklas mit schwarzen, im Anbruche meist rußig erscheinenden Hornblendekristallen. Bisweilen geht das unregelmäßig körnige Gefüge durch parallele Stellung der leistenförmigen Feldspate in eine gneisartige Struktur über. Die bekanntesten Fundorte sind der Plauensche Grund bei Dresden und die Gegend von Meißen. Durch Aufnahme von Biotit, Augit und anderen Nebengemengteilen entstehen Abarten, wie *Glimmersyenit*, *Augitsyenit* (*Proxensyenit*).

Das Gestein bei Syene (Assuan) in Ägypten, das von den Alten viel als Baumaterial benutzt wurde und zur Namengebung Veranlassung gegeben hat, ist ein Hornblendegranit.

77. **Diorit.** Der typische Diorit ist ein deutlich schwarz und weiß geschecktes Gestein (gr. diorizein = unterscheiden) aus Plagioklas und Hornblende.

Er bildet Übergänge in *Quarzdiorit*, *Glimmerdiorit*, *Augitdiorit* u. a. Wenn seine Körner feiner werden und sich mehr und mehr parallel lagern, so entsteht (z. B. häufig in den Mittelalpen) *Dioritgneis* und schließlich ein fast schieferiger, dunkelgrün bis schwarzgefärbter Fels, den man *Hornblendefels*, *Hornblendeschiefer* oder *Amphibolit* nennt (70). Der Diorit des Odenwaldes wird wegen seiner Politurfähigkeit viel zu Grabdenkmälern verarbeitet.

78. Diabas. Der Diabas enthält neben Plagioklas hauptsächlich Augit, müßte also dem Diorit sehr ähnlich sein. Aber in der Regel spielt der Augit die Hauptrolle, und der Plagioklas bildet sehr schmale Leisten, die erst am verwitterten Stücke deutlich als weiße Striche sichtbar werden. Sehr feinkörnige (dichte) Diabase lassen kaum noch die Gemengteile erkennen und sich nur schwer vom Hornblendefels unterscheiden. Sie heißen dann *Grünsteine*, *Grünsteinschiefer* oder *Diabasschiefer*. Diabase sind sehr häufig im Vogtland, Fichtelgebirge, Harz und in der Lausitz. Sie sind wegen ihrer Zähigkeit ein geschätztes Material für Pflastersteine, Grabplatten, und Denkmäler.

79. Gabbro. Unter diesem Namen versteht man eine sehr grobkörnige, oft faserig ausgebildete Abart des Diabases. Der Plagioklas gehört aber stets dem kalkreichen Labradorit an, und der Augit tritt in der metallisch schillernden, tafelförmig brechenden Abart als Diallag auf. Dieses durch seinen Eisengehalt ungewöhnlich schwere und überaus zähe Gestein kommt z. B. am Rande des Sächsischen Mittelgebirges vielfach vor (*Flasergabbro*).

Massengesteine mit Porphystruktur.

80. Porphy, Porphyrit. Der Name Porphy (ursprünglich die purpurrote Farbe eines ägyptischen Bausteins andeutend) ist eigentlich nur noch eine Bezeichnung für eine bestimmte *Art des Gesteinsgefüges*, und jede der besprochenen körnigen Gesteinsarten kann in eine porphyrische Ausbildung übergehen. Die Merkmale der *Porphystruktur* (Abb. 89) sind: 1. Die *Grundmasse*, ein grau, rot, braun, grün, schwärzlich gefärbtes, schwer bestimmbares Gemenge; 2. das Auftreten größerer, oft deutlich umgrenzter Kristalle oder *Einsprenglinge*. Die Grundmasse kann sein:

1. *feinkörnig*, so daß gerade noch die einzelnen Mineralkörner erkannt werden können (*Granitporphy*);

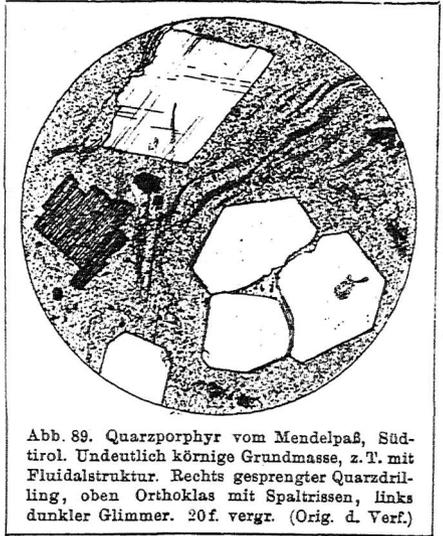
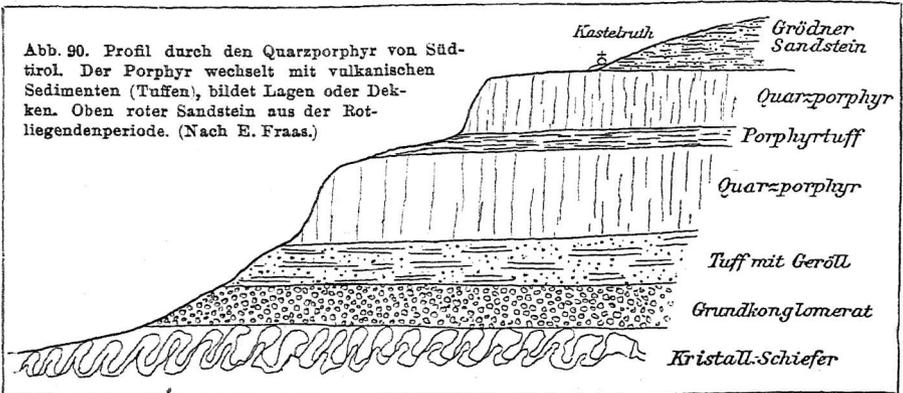


Abb. 89. Quarzporphyr vom Mendelpaß, Südtirol. Undeutlich körnige Grundmasse, z. T. mit Fluidalstruktur. Rechts gesprengter Quarzdrilling, oben Orthoklas mit Spaltrissen, links dunkler Glimmer. 20f. vergr. (Orig. d. Verf.)



2. *dicht*, nur unter dem Mikroskop granitähnlich;

3. *felsitisch*, ein Gewirr feinsten, nicht mehr bestimmbarer Fäserchen, bisweilen in Strömen angeordnet (fluidal, lat. fluidus = flüssig);

4. *glasig*, eine gefärbte, glasartig durchscheinende Masse, meist von zahllosen Sprüngen durchzogen. Eine rein gläserne Ausbildungsform von grüner, brauner bis schwärzlicher Farbe führt den Namen *Pechstein*. Er enthält wechselnde Mengen chemisch gebundenen Wassers (bei Meißen, Tharandt).

Sind deutlich erkennbare Mineralgemenge vorhanden, so kann man darnach zahlreiche *Arten des Porphyrs* abtrennen, nach dem Feldspatgehalt die beiden Hauptarten:

1. *Porphyr* (mit Orthoklas, den Graniten entsprechend):

- a) Orthoklasporphyr, b) Quarzporphyr, c) Glimmerporphyr,
d) Pyroxenporphyr u. a.

2. *Porphyrit* (mit Plagioklas, dem Diorit und Gabbro entsprechend):

- a) Hornblendeporphyrit, b) Glimmerporphyrit,
c) Augitporphyrit u. a.

Die Porphyrgesteine sind überaus weit verbreitet. Sie bedecken oft große Flächen, ähnlich wie der Granit, setzen sich aber nicht in die Tiefe fort, sondern bilden schicht- oder deckenförmig ausgebreitete Gesteinskörper. Oft liegen mehrere solcher *Decken*, getrennt durch echte Sedimentgesteine übereinander; z. B. Südtirol (Abb. 90), Halle, Nordwestsachsen, Chemnitz, Tharandt, Meißen. Auch in *Bergkuppen* oder Gängen tritt Porphyr auf. Fast alle Arten sind gute Bausteine.

Dem Porphyrit nahe verwandt ist der *Andesit*, der sehr häufig an den Vulkanen der südamerikanischen Anden und in Ungarn auftritt. Er weist die gleichen Mineralgemengteile auf, also Plagioklas, Hornblende, Biotit und erscheint meist lichtgrau oder bräunlich, mit dunklen Körnern gesprenkelt. Von Porphyrit unterscheidet er sich durch viel frischeres Aussehen der Ge-

mengeile. Quarzhaltiger Andesit, wie er z. B. in Siebenbürgen auftritt, heißt *Dazit* (Dazien = Siebenbürgen).

81. Basalt, Melaphyr. Der weitverbreitete schwarze Feldspatbasalt besteht zunächst aus einer Grundmasse, die u. d. M. (Abb. 91) entweder glasig erscheint oder sich in ein dichtes Gewirr von langen, schmalen, oft parallel gelagerten Leisten von Plagioklas, grünlichen Augiten, schwarzem Magnetisenerz (127) auflöst. Darin finden wir als Einsprenglinge dieselben Mineralien, vor allem den glänzenden Augit, dazu auch grünen Olivin, der oft ganze Nester bildet. Auch hier können wir zahlreiche Abarten aufstellen, z. B. nach der *Beschaffenheit der Grundmasse*:

1. *körnigen* Basalt oder *Dolerit* (Löbauer Berg), 2. *dichten* Basalt, 3. *Glasbasalt*. Nach den vorwiegenden Mineralien: 1. *Plagioklasbasalt*, 2. *Nephelinbasalt*, 3. *Leucitbasalt* u. a.

Der *Melaphyr* (gr. *mélas* = schwarz) ist in Gefüge und Zusammensetzung genau dasselbe wie Feldspatbasalt; er besitzt nur ein höheres Alter. Oft enthält er *Blasenräume*, die nachträglich von chemisch ausgeschiedenem Kalk, Quarz, Achat ausgefüllt worden sind. Da die Ausfüllungsmassen *Mandeln* (43) genannt werden, heißt ein solches Gestein *Melaphyrmandelstein*. Die berühmten Achate von Oberstein an der Nahe stammen aus einem Melaphyr.

Die verschiedenen Basaltarten sind überaus weit verbreitet, teils in *Decken*, wie der Porphyry, teils in einzelnen *Bergkuppen* von Kegel- oder Sargdeckelform (Abb. 92); z. B. Vogelsberg (250 qkm), Eifel, Siebengebirge, Westerwald, Rhön, Erzgebirge (Pöhlberg, Scheibenberg, Bärenstein, Geising), Lausitz (Löbauer Berg, Landeskronen). Im Böhmischem Mittelgebirge setzt er die weiten Hochflächen zusammen.

In zahlreichen Steinbrüchen gewinnt man den zähen Stein als ausgezeichneten Straßenschotter und Baustein. Dort kann man oft beobachten, wie die Felsmasse in lauter fünf- und sechskantige *Säulen* abgesondert ist, die bei Decken senkrecht stehen, bei Kuppen bisweilen nach oben schräg zusammenlaufen oder garbenförmig von der Mitte ausstrahlen (Abb. 93).

82. Trachyt. Trachyt ist im Gegensatz

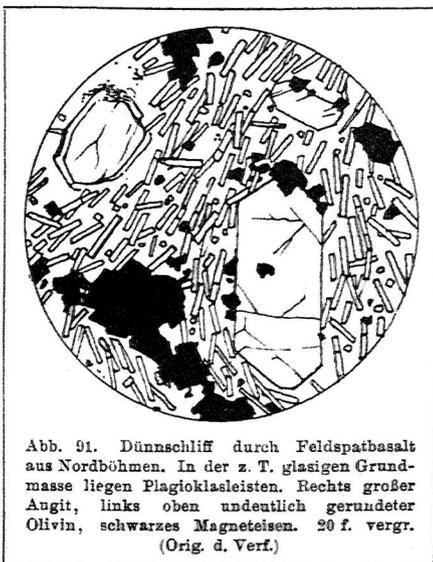


Abb. 91. Dünnschliff durch Feldspatbasalt aus Nordböhmen. In der z. T. glasigen Grundmasse liegen Plagioklasleisten. Rechts großer Augit, links oben undeutlich gerundeter Olivin, schwarzes Magnetisenerz. 20 f. vergr. (Orig. d. Verf.)

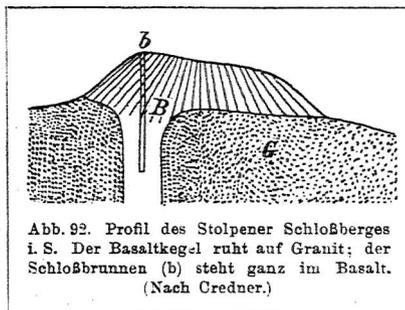


Abb. 92. Profil des Stolpener Schloßberges i. S. Der Basaltkegel ruht auf Granit; der Schloßbrunnen (b) steht ganz im Basalt. (Nach Credner.)

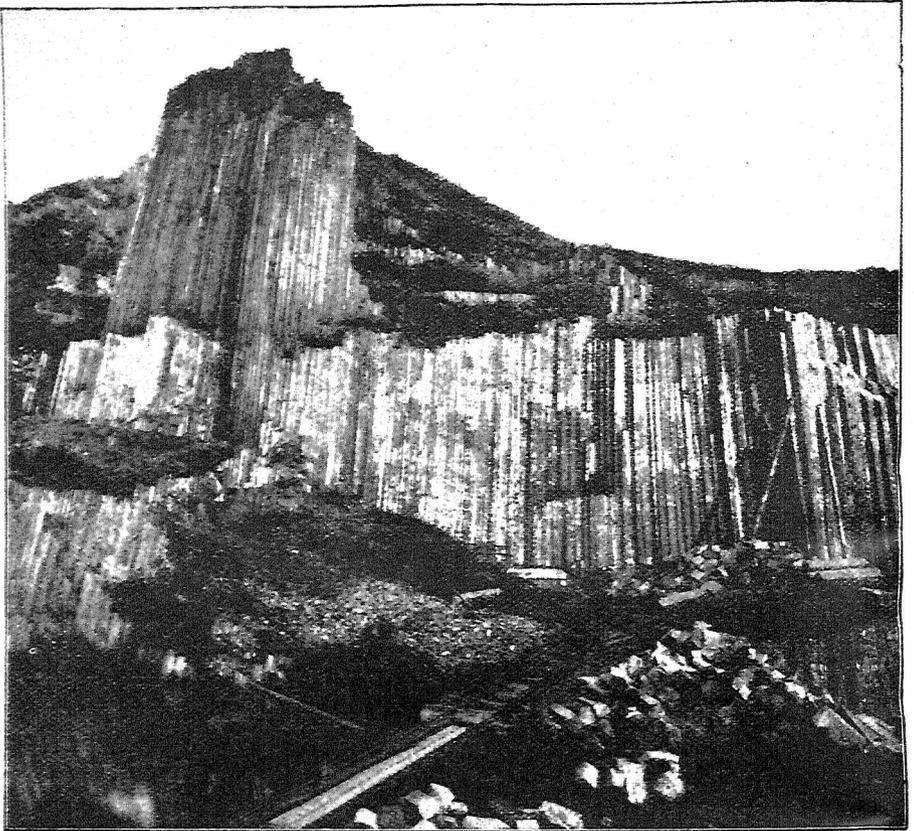


Abb. 93. Herrenhausberg b. Steinschöna i. B. Prachtige Basaltsäulen, die nach der Mitte zusammenlaufen.
(Hofphot. Eckert-Prag.)

zum Basalt *hellfarbig*, grau, gelblich oder rötlich und wegen seiner vielen Poren *rauh* (gr. *trachys* = *rauh*) anzufühlen. Die Grundmasse besteht großenteils aus langleistenförmigen, in Strömen (*fluidal*) angeordneten Feldspaten (*Sandin*). Die Einsprenglinge sind ebenfalls Sandine oder Plagioklase, seltener Hornblende, Augit, Biotit. Trotz des wesentlich anderen Aussehens steht der Trachyt chemisch dem Porphyry nahe; er unterscheidet sich von ihm aber durch frischeres Aussehen der Gemengteile, also vermutlich auch durch geringeres Alter.

Eine dem Quarzporphyry entsprechende Abart ist der *Quarztrachyt*, (*Liparit*, *Rhyolith*). Wie beim Porphyry die Grundmasse bisweilen glasig erscheint oder gar ganz zu einer Glasmasse wird, so kommen in Verbindung mit dem Trachyt völlig glasige, aber im Gegensatz zum Pechstein wasserfreie Gesteine, die *Obsidiane*, vor. Obsidian ist meist dunkel bis schwarz und bricht muschelig. Sind die Glasmassen vollständig blasig-

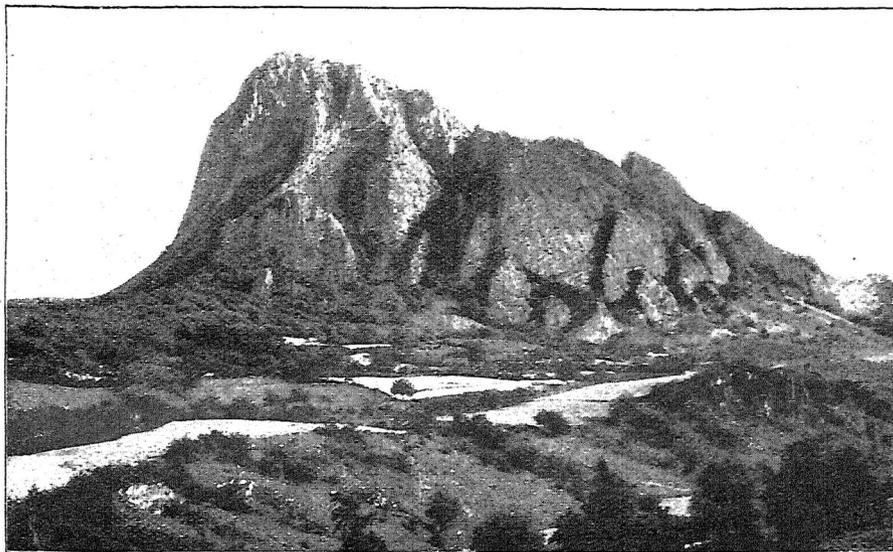


Abb. 94. Borschen bei Bilin, Phonolithkegel.
(Phot. v. H. Döring.)

schaumig und aus seidenglänzenden Strähnen zusammengesetzt, so heißen sie *Bimsstein*.

In Deutschland kommt nur quarzfreier Trachyt vor (Siebengebirge, Westerwald), Liparit nebst Obsidian und Bimsstein auf Island, in Ungarn, auf der Insel Lipari und in ungeheuren Massen im Nordwesten der Vereinigten Staaten. Der Kölner Dom besteht aus Trachyt vom Drachenfels im Siebengebirge; die schlechte Erhaltung dieses Bauwerkes ist auf die poröse Struktur des Trachyts zurückzuführen. Obsidian ist seit der Urzeit ein beliebtes Material zur Herstellung von Speer- und Pfeilspitzen bei den Naturvölkern. Bimsstein dient als Reinigungs- und Schleifmittel.

83. Phonolith. Der Phonolith oder *Klingstein* hat seinen Namen von der Eigentümlichkeit, in dünne Platten zu zerspringen, die beim Aneinanderschlagen einen hellen Klang geben (gr. phonein = tönen, lithos = Stein). Seine Grundmasse enthält Feldspat (*Sanidin*) und kurze Säulchen von *Nephelin*, daneben eine grünliche Augitart in zahlreichen Spießeln. Als Einsprenglinge kommen meist nur die Sanidine, seltener (im Hegau) auch Nepheline vor. Hochragende *Bergkegel* aus Phonolith finden sich in der Lausitz (Hochwald)¹⁾, in Nordböhmen (Milleschauer, Borschen [Abb. 94]) und im Hegau (Hohentwiel). Die Kuppen zeigen bisweilen parallel der Oberfläche ringsumlaufende Risse, so daß der ganze Berg sich „zwiebelschalenförmig“ aus Bänken aufbaut; aber auch Säulen wie beim Basalt kommen vor (Abb. 95).

1) Doch besteht nur der Gipfelteil des Hochwaldes aus Phonolith.

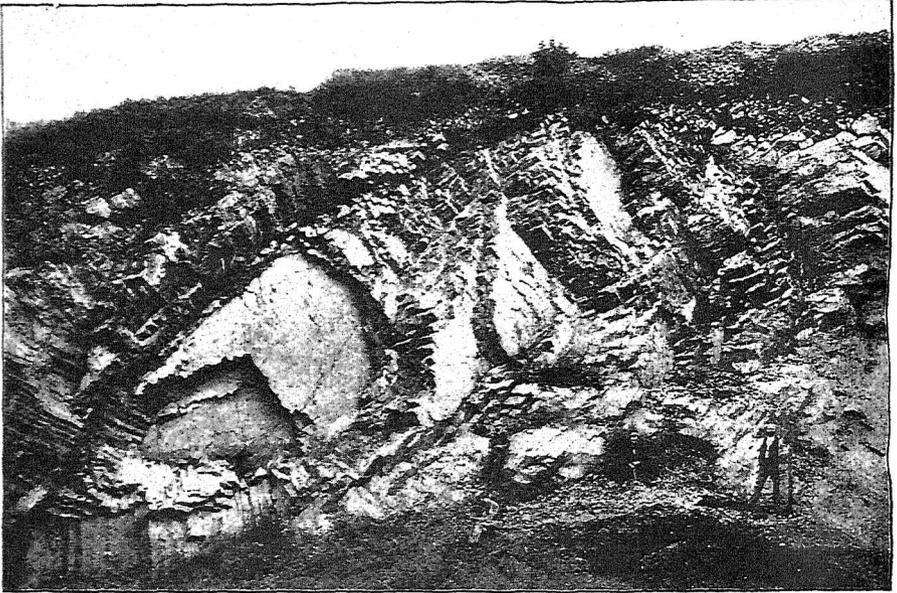


Abb. 95. Phonolithbruch, Schloß bei Oberwiesenthal. Gleichzeitig schalige und säulenförmige Absonderung.
(Phot. v. Schwerdgeburth.)

84. Zusammenstellung der wichtigsten Massengesteine nach Struktur und Hauptgemengteilen.

1. *Körnige Gesteine.*

✓ Granit: Orthoklas, Quarz, Glimmer.

✓ Syenit: Orthoklas, Hornblende.

Diorit: Plagioklas, Hornblende.

Gabbro: Plagioklas (Labradorit), Augit (Diallag).

Diabas: Plagioklas, Augit.

2. *Porphyrische Gesteine.*

✓ Quarzporphyr: Orthoklas, Quarz, Glimmer.

Liparit (Quarztrachyt): Sanidin, Quarz, Biotit.

Orthoklasporphyr: Orthoklas, Glimmer.

Trachyt: Sanidin, Hornblende.

Dazit (Quarzandesit): Quarz, Plagioklas, Hornblende, Biotit.

Porphyrit: Plagioklas, Hornblende.

Andesit: Plagioklas, Hornblende, Augit, Biotit.

Basalt: Plagioklas, Augit, Magneteisen, Olivin.

Melaphyr: Plagioklas, Augit, Magneteisen, Olivin.

Phonolith: Sanidin, Nephelin.

3. *Glasige Gesteine.*

Pechstein, wasserhaltig.

Obsidian, wasserfrei.

Bimsstein, schaumig blasig.

4. *Massengesteine mit Parallelstruktur.*

Flasergranit, gneisiger Granit, Gneis: Orthoklas, Quarz, Glimmer.

Granulit: Orthoklas, Quarz (Glimmer oder Granat).

Hornblendeschiefer, Amphibolit: Plagioklas, Hornblende.

Grünsteinschiefer, Diabasschiefer: Plagioklas, Augit.

85. *Andere Einteilungen der Massengesteine.* Man hat die verschiedensten Wege eingeschlagen, um die massigen Gesteine anzuordnen. In obiger Tabelle war die *Struktur* in den Vordergrund gestellt. Achten wir auf das Vorhandensein des *Feldspates*, so erhalten wir folgende Gruppen:

1. *Orthoklasgesteine:* Granit, Granulit, Syenit, Orthoklasporphyr, Quarzporphyr, Liparit, Trachyt, Phonolith (nebst Gläsern).

2. *Plagioklasgesteine:* Diorit, Diabas, Gabbro, Porphyrit, Andesit, Dazit, Melaphyr, Basalt.

3. *Feldspatfreie Gesteine:* reiner Augit- oder Hornblendefels, Olivinfels.

Sehr wichtig ist die Menge der vorhandenen *Kieselsäure*, sei es als freier Quarz oder gebunden in Silikaten. Man unterscheidet darnach:

1. *Saure Gesteine:* Quarzporphyr, Liparit (ungefähr 75% SiO_2), Granit (70%), Syenit (60%), Porphyrit, Andesit (60%), Trachyt (60%), Phonolith (59%).

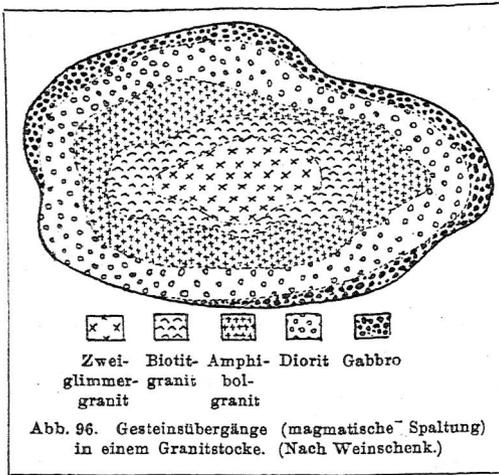
2. *Basische Gesteine:* Diorit (50%), Diabas (50%), Gabbro (50%), Feldspatbasalt (45%). Da Quarz und die kieselsäurereichen Feldspatmineralien hell gefärbt sind, Glimmer, Augit, Hornblende, Magnet Eisen aber fast schwarz, so zeigt obige Reihe zugleich im allgemeinen einen Übergang der Gesteinsfärbung vom *Hellen zum Dunkeln*.

Beobachtet man die *Art des Vorkommens*, so findet man einige Felsarten, die in mächtigen Stöcken bis in unbekannte Tiefen sich fortsetzen, während andere sich auf der Erdoberfläche ähnlich wie Schichtgesteine in Decken ausbreiten oder nur vereinzelte Kuppen zusammensetzen. Darnach gruppieren wir:

1. *Tiefengesteine:* Granit, Syenit, Diorit, Gabbro.

2. *Oberflächengesteine:* Porphyrit (vgl. Profil 90), Porphyrit, Melaphyr, Trachyt, Phonolith, Basalt, alle Gläser.

86. *Verwandtschaft der Massengesteine.* Die beste Einteilung der Massengesteine versagt, wenn man in die Natur hinauskommt. Denn die Natur zeigt uns nur selten die beschriebenen Gesteinsarten völlig dem gegebenen Schema entsprechend. Schon ein einzelner Steinbruch kann z. B. grobkörnige, feinkörnige, porphyrische, glimmerreiche oder hornblendereiche Granite enthalten, um so mehr ein größeres Massiv. Überall sieht man statt scharfer Grenzen ganz *allmähliche Übergänge* in *Struktur, Säuregehalt, Mineralbestand* usw. Wie ein Zweiglimmergranit in einen Gabbro übergehen kann, zeigt das abgebildete Schema (Abb. 96).



Bei Meißen ist ein Granitgebiet im Innern aus Syenit zusammengesetzt und von Syenit umrandet; daran schließt sich im Norden Pyroxensyenit, im Süden Diorit. Alle Übergänge (Biotitgranit, Hornblendegranit, Syenitgranit, Glimmersyenit, Hornblendesyenit, Pyroxensyenit) sind vorhanden. Im Sächsischen Mittelgebirge geht richtungslos körniger Granit in Biotitgneis, Glimmergranulit und völlig schieferigen Granulit über. Im Erzgebirge sieht man Übergänge vom Granit in Gneis und Granitporphyr.

Aufgaben: Bilde ähnliche Übergangsreihen zwischen: Granit-Diabas, Diabas-Diorit, Syenit-Diorit, Grünschiefer-Hornblendeschiefer. Welche Gesteinsreihe würde etwa das zunehmende spezifische Gewicht wiedergeben? Gelegenheit zum Sammeln von Massengesteinen geben nicht bloß die Steinbrüche, sondern in Norddeutschland vor allem die nordischen Geschiebe. Auch die Bildhauer verarbeiten eine reiche Auswahl, und die polierten Grabsteine reizen zum Studium der Gesteinsstrukturen.

VIII. Zerstörung der Gesteine.

Verwitterung.

87. Alle die Rollkiesel des Baches, die Körner des Sandsteins, die Tonmassen, kurz alles, was wir als klastisches oder Trümmermaterial erkannt haben, stammt in letzter Linie von den Massengesteinen. Wo irgendeine Felsmasse an die Erdoberfläche emporragt, verfällt sie den nagenden, zerstörenden Kräften der *Atmosphären*, d. h. den Einflüssen der Luft, des Wassers, der Sonnenstrahlung, des Temperaturwechsels, also dem Wetter. Daher bezeichnen wir diese Zerstörung als *Verwitterung* und gliedern dieselbe in *mechanische*, *chemische* und *organische Verwitterung*.

88. **Mechanische Verwitterung.** Die mechanische Verwitterung besteht in einer oberflächlichen *Lockerung des Gesteinsgefüges*; sie macht das Gestein rissig, zerlegt es in einzelne Teile: Blöcke, Bänke, Säulen, zuletzt in Brocken und Schutt. Die chemische Beschaffenheit der Mineralien ändert sich dabei zunächst nicht. Diese Zerlegung wird wirksam unterstützt durch allerlei Eigentümlichkeiten des Gefüges selbst. Jedes Gestein, auch das festeste, ist durchzogen von mikroskopisch feinen *Haarspalten*. Besonders die körnigen Massengesteine sind reich daran, weil die einzelnen Mineralbestandteile mit

unsichtbaren Fugen aneinanderstoßen. Meist erkennen wir aber außer diesen winzigen Trennungsflächen noch viel größere, die in mehr oder minder regelmäßiger Anordnung die Felsmassen durchziehen. Nach der Entstehungsursache unterscheidet man verschiedene derartige Klüfte, z. B.

1. *Schichtfugen*, die Trennungsflächen in Schichtgesteinen, die bei dem allmählichen Absatz durch Änderung in der Korngröße usw. entstehen. (Abb. 20.)

2. *Schieferungsflächen* (61), durch Druck gebildet, wenn die feinsten flach ausgebildeten Bestandteile rechtwinklig zur Druckrichtung auszuweichen suchen (Dachschiefer).

3. *Berstungsklüfte* (61), wenn ein Gesteinskörper starker Zerrung ausgesetzt wird, z. B. die senkrechten Klüfte im Elbsandstein.

4. *Eintrocknungsklüfte*, wie man sie an eingetrockneten Tonlachen und am Buntsandstein beobachten kann (5, 16).

5. *Abkühlungsklüfte*, wenn eine Lava während der Verfestigung ihr Volum vermindert und dabei in säulen-, platten-, kugel- oder würfelförmige Teilstücke zerspringt. (Siehe später 104, sowie 81, 83.)

6. *Verwitterungsabsonderung* (74), Bankung. Die Bankungsklüfte verlaufen parallel der Neigung der Felsoberfläche, beginnen in der Tiefe als unsichtbare „Lose oder Gare“ und erweitern sich in den oberen Lagen, vielleicht infolge der Druckentlastung, die eintritt, wenn eine Gesteinsdecke nach der andern durch Verwitterung entfernt wird (Abb. 86).

Alle die kleinen und großen Spalten erfahren eine fortwährende Erweiterung, hauptsächlich durch zwei Witterungseinflüsse: *Wechsel in der Sonnenstrahlung* (Insolation) und *Einfrieren des Spaltenwassers*.

Das Gestein nimmt die Sonnenwärme in sich auf und dehnt sich dabei aus; dunkle Stoffe werden rascher ausgedehnt als helle. Erfolgt dann eine plötzliche Abkühlung, so ziehen sich die Massen wieder zusammen, und wenn dies nicht in allen Teilen ganz gleichmäßig geschieht, so lockert sich das Gefüge; vorhandene Risse erweitern sich. In der Wüste mit ihrer Sonnenglut (bis 75° Gesteinstemperatur) und ihrer gewaltigen nächtlichen Ausstrahlung hört man nachts bisweilen ein Knallen wie von Flintenschüssen, wenn die Steinblöcke sich zusammenziehen und platzen. Auch bei uns ist diese Auflockerung nicht ohne Einfluß, namentlich bei Gesteinen mit hellen und dunkeln Gemengteilen. Wichtiger aber ist im gemäßigten Klima das Wasser, das auf allen Gesteinsspalten hinsickert. Wenn dasselbe zufriert, dehnt es sich um $\frac{1}{11}$ seines Volums aus und erweitert die Spalten. Gegenden, in denen die Temperatur oft um den Nullpunkt schwankt, wie höhere Gebirge, sind in besonderem Maße der Zerstörung durch „*Spaltenfrost*“ ausgesetzt.

Wenn dann allmählich die kleineren Bruchstücke weggeführt werden, so bleiben als Reste jene eigentümlichen, oft malerischen Felsbildungen übrig, die man in der Geologie als *Matratzen*, *Wollsäcke*, *Felsenmeere* u. a. be-

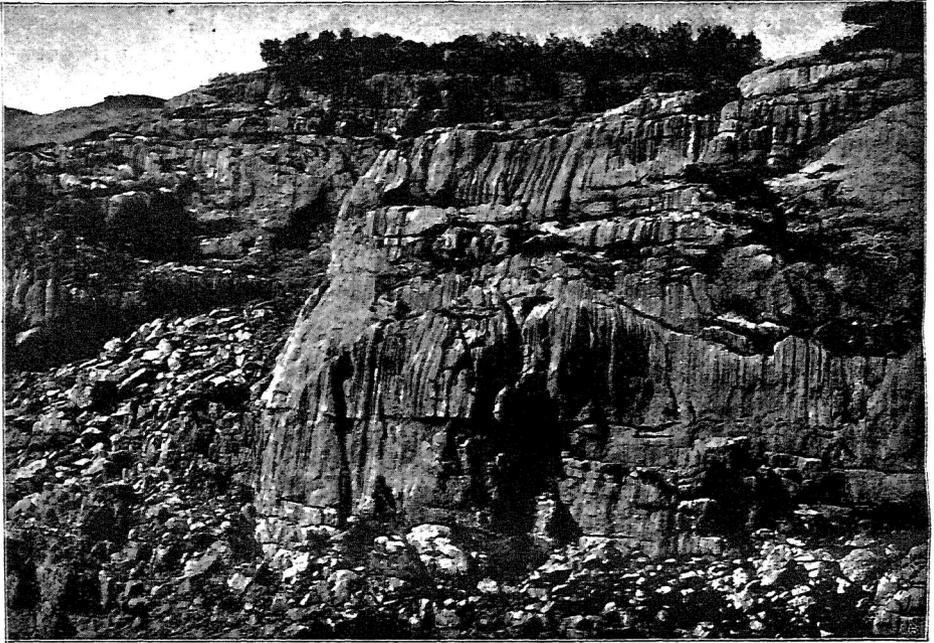


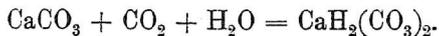
Abb. 97. Karrenwand aus dem Gottesackerplateau im Allgäu. (Nach Eckert.)

zeichnet (Abb. 98). Doch sind diese nie das Produkt rein mechanischer Einwirkung, sondern gleichzeitig sich abspielender chemischer Vorgänge.

89. **Chemische Verwitterung.** Die mechanische Verwitterung schafft im Gestein die Bahnen, auf denen die chemischen Zerstörungsvorgänge sich abspielen. Es ist das *Wasser* mit seinem Gehalt an *Sauerstoff* und *Kohlensäure*, was in erster Linie in Wirksamkeit tritt, und zwar in mannigfacher Weise:

1. *Einfache Lösung:* Steinsalz (19), Salpeter (31), Gips (25) lösen sich im reinen Wasser leicht auf. In Gipsgebieten erweitern sich Gesteinspalten rasch; es entstehen Hohlräume oder *Schlotten*, und wenn diese zusammenstürzen, oberflächlich sichtbare „*Erdfülle*“.

2. *Lösung unter Kohlensäurebindung.* Karbonate, besonders der gewöhnliche kohlensaure Kalk, sind in reinem Wasser nahezu unlöslich (39). Bei Gegenwart von Kohlensäure (Kohlendioxyd) aber bilden sich Bikarbonate (doppeltkohlensaure Salze), die sich lösen und vom Wasser fortgeführt werden, z. B.



So entstehen die wildzerfressenen Kalkoberflächen im Karstgebiet, die „*Karrenfelder*“ (Abb. 97); Spalten erweitern sich zu Schluchten, in der Tiefe zu *Höhlen* (Abb. 29). Ganze Flußläufe versinken in diese unterirdischen Hohlräume; der Oberlauf der Donau verliert zwischen Immen-

dingen und Tuttlingen so viel Wasser, daß er an etwa 77 Tagen des Jahres trocken gelegt ist. Durch starke oberflächliche Erweiterung von Spalten oder auch durch Einsturz bilden sich die *Dolinen*. Daß alle großen Höhlen, wie die Adelsberger Grotte, durch Auslaugung entstanden sind, ist sehr zweifelhaft; jedenfalls sind sie bereits ursprünglich vorhandene Lücken in Korallenriffen.

3. *Sauerstoffaufnahme*. Der weitverbreitete goldgelbe Eisenkies (Eisendisulfid, FeS_2) (127) wandelt sich in Eisensulfat (Ferrisulfat, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) um¹⁾, das gelöst wird und im Gestein umherwandert, bis ein entgegengesetzter Prozeß, eine Reduktion, es wieder zur Ausscheidung bringt, sei es als Eisenoxyd (Fe_2O_3) oder als Eisenoxydhydrat (Ferrihydroxyd, Eisenrost $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Namentlich letzteres überzieht fast alle Fels- und Klufflächen mit seiner braunen Farbe.

(Schwarze Überzüge, ebenso wie die zierlichen moosähnlichen *Dendriten* auf Klufflächen stammen meist von dem in ähnlicher Weise ausgeschiedenen Manganoxyd.)

4. *Wasseraufnahme*. Anhydrit (CaSO_4) verwandelt sich in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) unter beträchtlicher Volumvergrößerung (60%) und dadurch hervorgerufener Verzerrung oder Verbiegung (23).

5. *Chemische Wechselersetzungen (Komplizierte Verwitterung)*. Obige verhältnismäßig einfachen chemischen Reaktionen spielen eine geringe Rolle gegenüber den überaus verwickelten Vorgängen, die sich bei der Verwitterung der Massengesteine abspielen. Das Wasser des Bodens enthält Spuren verschiedener Säuren, Basen, Salze in Lösung, deren Wirksamkeit im einzelnen sich der Beobachtung entzieht. Wir kennen nur im allgemeinen die Aufeinanderfolge der Verwitterungsstufen bei unsern hauptsächlichsten Gesteinsgemengteilen (Feldspat, Glimmer, Hornblendefamilie). In der Regel wird zuerst das *Eisen* entführt, wodurch die dunkeln Gemengteile ausbleichen, die Klüfte dafür sich gelb (Eisenhydroxyd) färben. Dann wird *Kalk* und *Natron* in löslicher Form ausgeschieden. Der unlösliche Rückstand ist ein *kalihaltiges wasserhaltiges Tonerdesilikat* von wechselnder Zusammensetzung, das wir *Verwitterungston* oder schlechtweg *Ton* nennen. (Kalifreies, wasserhaltiges Tonerdesilikat, *Kaolin*- oder Porzellanerde bildet sich als Verwitterungsprodukt nur in Gegenwart von viel Humus.) (104) Reiner Ton, wie ihn der Töpfer verwendet, fühlt sich fettig an, haftet an der Zunge und besitzt einen eigentümlichen Geruch. Er saugt begierig Wasser auf und gibt es nur langsam wieder ab.

Zu diesem neugebildeten chemischen Körper gesellen sich im Lösungsrückstand die ungelöst gebliebenen Quarze und Apatite, ausgebleichte Glimmerblättchen, halbzerstörte Feldspatbrocken, Eisenhydroxyd oder Manganoxyd als

1) $2\text{FeS}_2 + 15\text{O} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$. Es entsteht also gleichzeitig freie Schwefelsäure, die das Gestein zerfrißt!

allgemeine Färbemittel, und all dieses bildet die „*Verwitterungserde*“ der Felsen, die sich später unter Mithilfe der Organismen und des menschlichen Pfluges in brauchbare Ackererde verwandelt.

Die gewöhnliche, durch Eisenhydroxyd gelb gefärbte Verwitterungserde heißt *Lehm*. Lehm mit starkem Kalkgehalt wird *Mergel* genannt. Rote oder grünliche Abarten, oft mit geflammter Zeichnung, bezeichnet man als *Letten*. Sie sind meist stark verunreinigt durch fremde Beimengungen. In den Tropen vertritt die Stelle des Lehms vielfach die eisenoxydreiche, aber kieselsäurefreie Roterde, der *Laterit* (lat. later = Ziegelstein¹).

So ist also das *Endziel der chemischen Verwitterung* eine Trennung des Gesteinsmaterials in

1. eine *Lösung*, die den Baustoff liefert für Pflanzen, Skeletteile der Tiere, chemische Sedimente;
2. einen *Lösungsrückstand*, der von Wind und Wasser fortgeführt, gesondert und als mechanisches Sediment auf „sekundärer Lagerstätte“ wieder abgesetzt wird.

90. *Organische Verwitterung*.. Die Organismen beteiligen sich sowohl mechanisch als auch chemisch an der Zerstörungsarbeit. *Wurzeln* dringen in Gesteinsspalten und erweitern sie; Blattpolster wirken wasserspeichernd. Die Wurzeln saugen nicht nur gelöste Stoffe auf, sondern vermögen unter Abscheidung von Säuren selbst ungelöstes Material zu zerstören und in sich aufzunehmen. So werden z. B. auf einer Wiesenfläche von 1 ha durch das gearntete Gras dem Boden jährlich 250 kg Aschenbestandteile, d. h. aufgespeicherte Mineralsubstanz, entzogen. *Flechten* und *Moose* bearbeiten als Pioniere selbst kahle Felsflächen; gedeihen doch 47 Flechtenarten sogar auf Fensterglas. Ungeheure Mengen von *Spaltpilzen* bewohnen die oberen Schichten des Erdbodens (auf einen Kubikzentimeter kommen bis 150000 Bakterien) und entwickeln teils Kohlensäure, teils Salpetersäure, salpetrige Säure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff oder Sumpfgas. Durch die Pflanzen erst wird dem Boden ein Teil des *Kalis* sowie die *Phosphorsäure* entzogen, die in Form des überaus weitverbreiteten Apatits chemisch gebunden im Boden lagert und ein unentbehrliches Pflanzennahrungsmittel darstellt.

Wo Pflanzen unter beschränktem Luftzutritt verwesen, bleibt ein kohlenstoffreicher und wasserstoffarmer, pulveriger Rückstand, den man gewöhnlich *Mull* oder *Humus* nennt. Er ist außerordentlich quellbar, reißt den Wasserdampf aus der Luft an sich und hält große Mengen von Ammoniak, Sumpfgas oder Schwefelwasserstoff fest. So wird er zu einem Speicher für chemisch

1) In Südindien wird eine Roterde zu Ziegeln geformt, die sich nach dem Austrocknen in einigen Monaten in braunschwarzen, unverwüstlichen Brauneisenstein verwandeln. Nach diesen Ziegelsteinen, nicht nach der ziegelroten Farbe ist der Laterit genannt.

wirksame Stoffe, die allmählich an die unterlagernden Gesteinsschichten gelangen und sie zerstören helfen.¹⁾

Auch die *Tiere* sind für die Verwitterung bedeutungsvoll. Die Regenwürmer lassen in 10 Jahren eine 2—4 cm dicke Schicht Ackererde durch ihren Darmkanal wandern, und Engerlinge wie Maulwürfe beteiligen sich ebenfalls an der mechanischen Auflockerung der Verwitterungsdecke.

Aufgaben: Beobachte die Absonderungsklüfte in Steinbrüchen. Auf welche Weise machen sich Haarspalten beim Zerschlagen von Gesteinsstücken bemerkbar? Bringe stark erhitzte Steine in kaltes Wasser und wiederhole den Versuch, bis deutliche Risse entstehen. Setze eine schwarze Schiefertafel und einen weißen Teller der Sonnenbestrahlung aus und fühle dann an. Lasse Tonschlamm oder Stärkekleister eintrocknen, bis Eintrocknungsklüfte entstehen. Dendriten erhält man, wenn man eine poröse Ton- oder Gipsplatte an einzelnen Stellen mit einer mittelstarken Lösung von übermangansaurem Kali (Mundwasser) befeuchtet. Gute Gelegenheit, den Zerfall verschiedener Gesteinsarten zu vergleichen, bieten die Grabsteine des Friedhofes. Lege ein Bruchstück einer polierten Marmorplatte unten in einen Blumentopf und setze darüber in gewöhnliche Erde eine Pflanze; die Wurzeln ätzen matte Stellen in die Politur. Trenne eine Handvoll Verwitterungserde durch Schlämmen in ihre verschieden großen Bestandteile. Beobachte die Gelbfärbung der Bäche und des Bachgrundes innerhalb mooriger Waldungen.

Verwitterung und Landschaftscharakter.

91. Felsformen. Wenn die Schichtfugen des Sandsteins durch Verwitterung erweitert werden, entstehen jene Felstafeln mit gerundetem Rande, die wie Tuchballen übereinander liegen. Die senkrechten Klüfte gliedern sie in Quader; diese selbst erweitern sich allmählich zu Schluchten oder Klammen. Die stehengebliebenen Zwischenmassen bilden zerrissene Wände, Türme, Klötze, die z. B. die Sächsische Schweiz auszeichnen.

Der Kalkstein neigt, da er von senkrechten Klüften durchzogen ist, ebenfalls zur Bildung von Schluchten, Türmen, steilen Wänden, wie es z. B. die Dolomiten zeigen.

Der Granit hat oft überwiegend wagerechte Klüfte, durch die eine Felsmasse schließlich in schichtähnlich übereinander liegende Gesteinskörper (sogenannte *Matratzenbildung*) zerlegt wird. Sind auch die (Abb. 98) senkrechten Spalten ausgeprägt, so entstehen zunächst eckige Bruchstücke, die randlich in Brocken oder Grus zerfallen, sich abrunden und nach Wegführung der kleinen Abfälle als „*Wollsäcke*“ liegen bleiben oder in großer Zahl die malarischen „*Blockmeere*“ bilden (Fichtelgebirge, Böhmerwald, Odenwald, Riesengebirge).

So hat jede Felsart ihre besondere Eigenheit in der Verwitterung und drückt der Landschaft einen besonderen Stempel auf.

1) Über die früher angenommenen „Humussäuren“ vgl. des Verf. „Grundfragen der allgemeinen Geologie.“

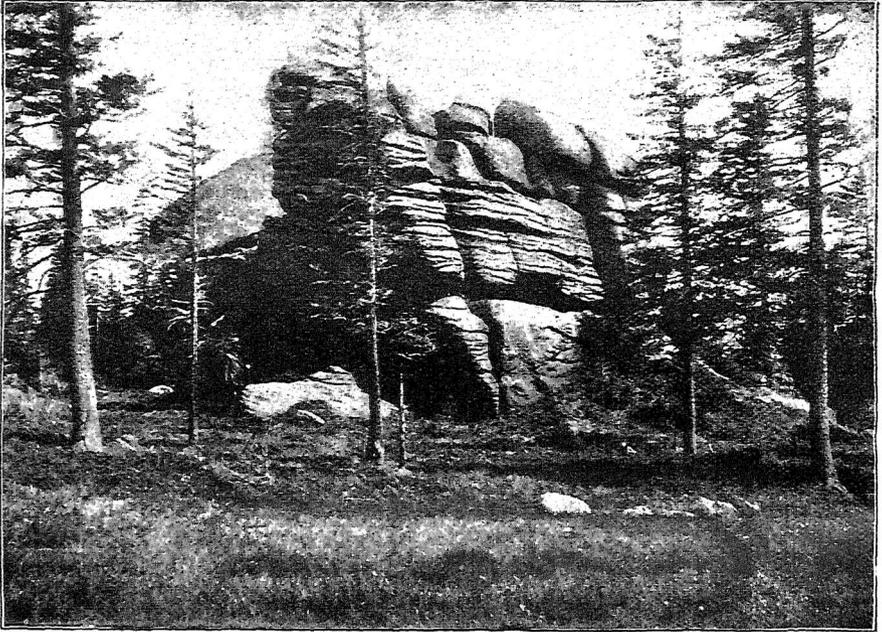


Abb. 98. Katzenschloß, Nordabhang des Riesengebirges. Granit, oben in Wollsäcke, unten in Matratzen aufgelöst. (Phot. v. Friederichsen.)

92. Allgemeine Geländeformen (Denudation). Denken wir uns eine gleichartige, völlig ebene Felsmasse den Einflüssen der Witterung ausgesetzt, so müßte sie sich allmählich in eine überall gleich dicke, nach der Tiefe fortschreitende Verwitterungskruste umwandeln, bis schließlich diese Kruste selbst eine Schutzdecke für den Fels gegenüber den Atmosphäriken wird. Solche Verhältnisse gibt es aber nirgends. Zunächst wechselt die *Art* und *Angreifbarkeit des Gesteins*. Jede Gesteinsart verhält sich der Verwitterung gegenüber anders: Quarzfels, Basalt werden nur langsam zerstört, toniger Sandstein, Kalk sehr leicht. Die Verwitterung schreitet hier langsam, dort schnell in die Tiefe; die Oberfläche des festen Felsens wird also mehr und mehr uneben.

Diese Verhältnisse würden uns aber durch die Verwitterungsmassen verschleiert bleiben, wenn diese nicht einer fortdauernden *Abtragung* unterworfen wären. Die Natur bedient sich hierzu namentlich zweier Transportmittel: des *Windes* und des *Regenwassers*.

Der *Wind* trägt beständig — auch von den ebensten Flächen — feine Staubteile, gelegentlich auch größeren Sand fort. Wo aber nur die geringste Gehängeneigung vorhanden ist, da sehen wir bei jedem stärkeren Regen zahllose *Wasseradern*, mit gelösten und suspendierten Stoffen beladen, dem näch-

sten Bache zueilen. Eine *allgemeine Erniedrigung des Geländes* muß die Folge dieses Vorganges sein; wir bezeichnen sie als *Denudation* (lat. nudus = nackt, also Entblößung des Felsgerüsts der Erde). Für den Betrag dieser Erniedrigung einige Beispiele: Das Flußgebiet der Rhone wird in 3470 Jahren um 1 m

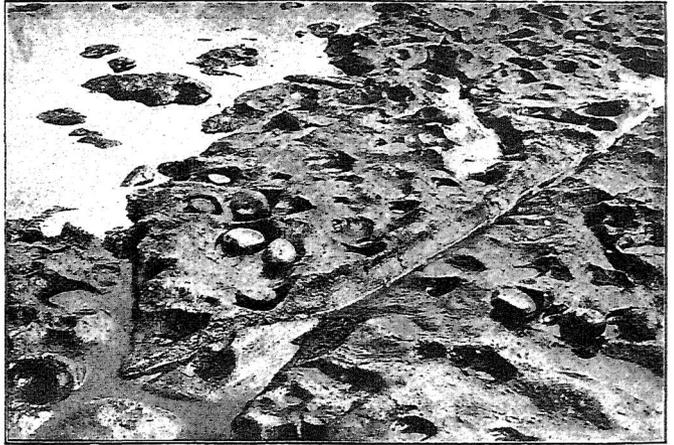


Abb. 99. Elbgrund unterhalb Dresdens bei Niedrigwasser. Der Plänerkalk zeigt viele Strudellöcher mit Reibsteinen. (Phot. v. H. Döring.)

erniedrigt; denn der Strom bringt jährlich $1\frac{1}{2}$ Millionen cbm Gesteinsmaterial in den Genfer See (nach Uetrecht). Der Solnhofener Kalkstein verliert erst in 72000 Jahren (nach Pfaff) eine Schicht von 1 m durch Abtragung. Die Denudation wirkt in dreifacher Weise:

1. Sie erniedrigt weite Gebiete der Erdoberfläche und ruht nicht eher, als bis jede Unebenheit des Bodens ausgeglichen, nivelliert ist.

2. Sie entblößt immer neue Felsmassen und setzt sie der Verwitterung aus.

3. Sie macht den Wechsel in der Verwitterbarkeit der Gesteine sichtbar, indem sie die widerstandsfähigen Massen als Kämme, Kegel usw. aus ihrer weicherer Umgebung herausmodelliert oder „herauspräpariert“ (z. B. der Pfahl im Bayrischen Walde aus Quarz, die zahlreichen „Teufelsmauern“ aus Basalt, die harten Lavamassen der Vulkane, die zunächst vielfach in Asche begraben sind).

93. Talformen (Erosion). Alles Wasser strebt abwärts, vereinigt sich in vorhandenen Bodensenkungen zu Bächen und Flüssen. Dorthin kommt also auch der Verwitterungsschutt des Flußgebietes. Wie das Wasser ihn nun weitertransportiert, dabei nach Größe und Schwere der Gemengteile sondert und schließlich wieder auf „sekundärer Lagerstätte“ schichtenweise absetzt, haben wir bereits kennen gelernt (2). Aber das fließende Wasser tut noch mehr. Die auf dem Talboden entlang vorwärts rutschenden und rollenden Steine stoßen nicht nur einander die Kanten ab, formen sich zu „Geröllen“, sondern sie *bestoßen auch den Untergrund*, das Flußbett selbst. Der Fluß gleicht einer riesigen, beständig bewegten Säge, und die Gerölle bilden die Sägezähne. Aus Millionen von Einzelleistungen geht schließlich im Flußbett ein Sägeschnitt, ein senkrechter Riß hervor. Diese *einschneidende*, in

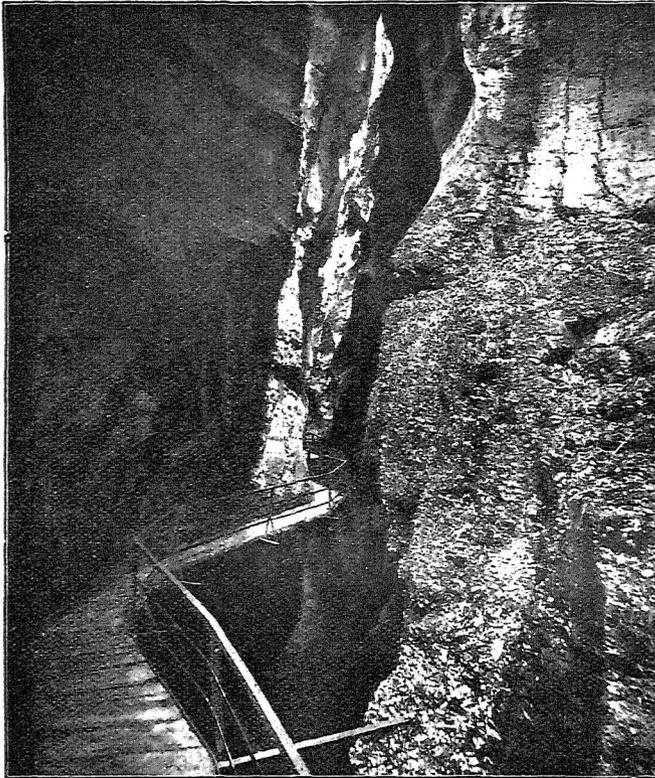


Abb. 100. Aareschlucht bei Meiringen, entstanden durch sehr rasche Erosion. Die Wände durch Wasserwirkung z. T. geglättet.

senkrechter Richtung wirkende Tätigkeit nennt man *Erosion* (lat. erodere = ausnagen)¹⁾.

Würde die Erosion immer allein und in gleicher Richtung wirken, so wäre das Ergebnis eine tiefe, steilwandige Schlucht, eine

Klamm (Abb. 100). Aber alsbald setzt an den Steilwänden die Verwitterung ein; Blöcke lösen sich ab und stürzen ins Wasser, um dort mit fortgeschleppt zu werden. So legt sich das Ufer schräg zurück, bis die Rutschbahn für den Schutt zu flach und ungangbar wird; das Querprofil des Tales ist ein **V**.

Nun verschwindet allmählich die Spitze des **V**. Wenn nämlich der Fluß nicht ganz gradlinig läuft, wenn er Krümmungen, Kurven bildet, so verlegt sich der Stromstrich (Abb. 1) nach der Außenseite der Kurve. Dort prallen die Gerölle an, untergraben die Wand und legen sie zurück, während an der Innenseite der Krümmung, in dem ruhigeren Wasser, die Gerölle eine zungenförmige Ablagerung bilden. So verändert der Fluß fortwährend seine Laufrichtung, bearbeitet bald diese, bald jene Stelle des Steilufers, und das Ergebnis dieser Laufänderungen, die man oft als „Mäanderbildungen“ bezeichnet, ist ein breiter Talboden — das Zeichen des Alters in der Lebensgeschichte eines Flusses.

Nur wo der Fluß Felsgestein mit senkrechten Klüften durchschneidet,

1) Welche Scheuerwirkung ein einzelnes Geröll haben kann, zeigen die merkwürdigen *Strudellöcher*, die der Felsgrund mancher Flüsse namentlich an Krümmungen besitzt. Der scheuernde Stein schraubt sich gewissermaßen in den Felsen ein (Abb. 99). Unter Gletschern findet man ähnliche Formen unter dem Namen *Gletschertöpfe*. Hier hat das durch die Gletscherspalten stürzende Wasser die Steine gedreht (Abb. 103).

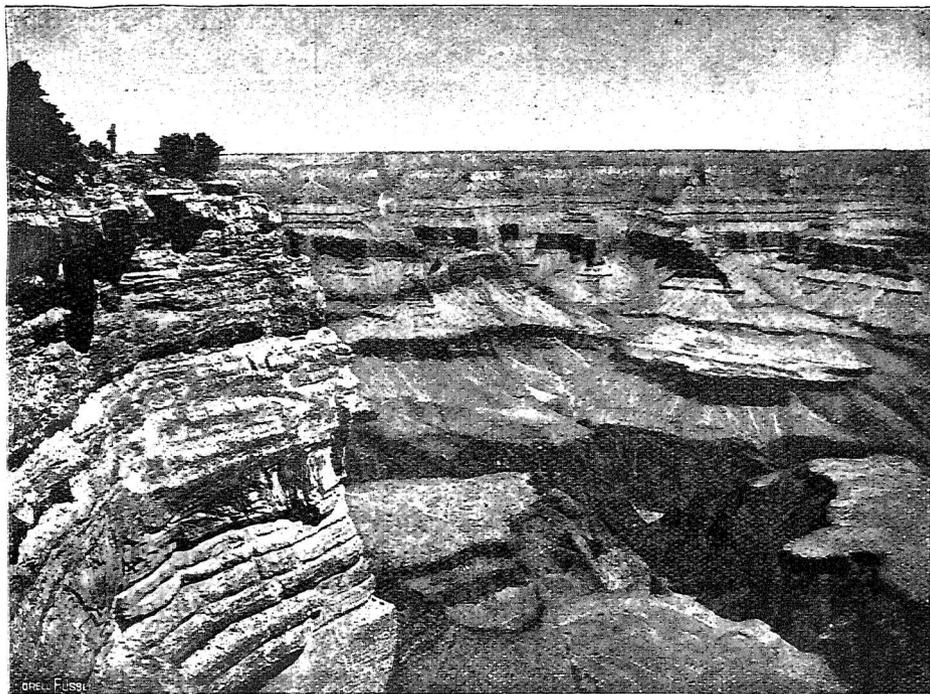


Abb. 101. Cañon vom Rio Colorado in Nordamerika.

Reproduziert nach einer Originalaufnahme der Photoglob Co. in Zürich.

fehlt die Abschrägung der Talwände oft; denn die unterwaschenen Felsmassen stürzen bis zur nächsten Kluft nach, und an die Stelle der alten Steilwand tritt wenig weiter rückwärts eine neue. Solche steilwandige Täler in Gegenden mit wagerechtem Schichtenbau benennen wir mit dem spanischen Worte *Cañon* (sprich kánjon). Die großartigsten Cañons bildet der Colorado (Abb. 101) im westlichen Nordamerika; aber auch Deutschland besitzt ähnliche Formen, z. B. die Sächsische Schweiz und das Kalkgebiet Thüringens (Saaletal).

Unsere Flußtäler sind also mit wenigen Ausnahmen ein Werk der erodierenden Flüsse selbst. Spaltenförmige *Zerreißenungen*, *Senkungen ganzer Erdschollen* (z. B. Elbtal bei Dresden) sind nur untergeordnete Faktoren.

Wo die Felsschichten gefaltet sind, unterscheidet der Geolog die Täler je nach ihrer Richtung im Vergleich zu dem Faltenstreichen in: 1. *Längstäler*, 2. *Quertäler*. Erstere können sich befinden a) in der Mulde (*Muldenstäler*) (Abb. 102), b) auf dem Sattel oder Scheitel (*Scheiteltäler*), c) auf dem Mittelschenkel der Falte (*Flankentäler*). Daß ein Fluß sich quer zu den Falten ein Bett graben kann, erscheint auf den ersten Blick kaum möglich. Doch gibt es mehrere Erklärungen dafür. Entweder der Fluß war *eher* da, als die Faltung begann, und letztere schritt so langsam fort, daß das Wasser die

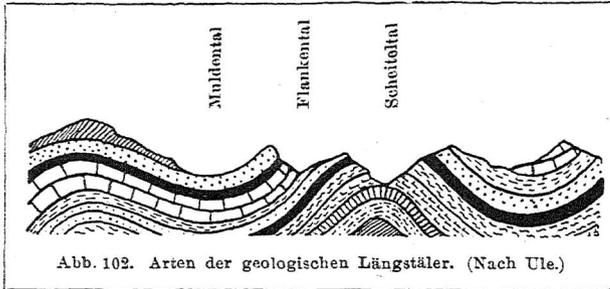


Abb. 102. Arten der geologischen Längstäler. (Nach Ule.)

sich aufwölbende Barre zersägte, ehe es zum seitlichen Überfließen gezwungen war. Oder das ganze gefaltete Gestein lag zunächst *verhüllt unter wagerechten Sedimentgesteinen*, und der Fluß hatte sich bereits eine von Steilwänden

begrenzte Bahn geschaffen, als er auf die gefalteten Gesteine stieß.

Wie die Denudation feste Gesteine aus weichen herausarbeitet, so stößt auch der erodierende Fluß auf sehr verschiedenen Widerstand. Das Ergebnis sind jene reich gegliederten Stielwände, jene Klippen, Felsvorsprünge am Ufer, jene Querriegel und Buckel im Flußbett selbst, die namentlich die jüngerer Gebirgstäler so reizvoll machen.

Wo der Fluß seine Transportkraft verliert, wo er sein Bett mit Gerölln pflastert, hört natürlich auch die Bearbeitung des Untergrundes auf. Das Bett wird nicht vertieft, sondern im Gegenteil erhöht. Nach diesem Gesichtspunkte gliedern wir jeden Fluß in drei Abschnitte:

1. *Oberlauf* — Ausräumung und Erosion.
2. *Mittellauf* — je nach Wasserstand wechselnd zwischen Ausräumung und Ablagerung.
3. *Unterlauf* — Ablagerung und Erhöhung.

Wenn nun oben der Fluß sich immer tiefer einschneidet, unten dagegen immer mehr absetzt, so ist die Folge ein immer geringer werdendes Gefälle. Junge Flüsse und Flußstrecken haben starkes und oft wechselndes Gefälle, alte geringes und ausgeglichenes.

94. Talformen in vergletscherten Gebieten. Ähnlich wie das fließende Wasser vermag auch das feste, der *Gletscherstrom*, sein eigenes Bett zu bearbeiten. Zunächst in ähnlicher Weise wie ein Fluß: das vorrückende Eis nimmt den vorhandenen Schutt als Grundmoräne mit fort und reibt dabei den festen Felsgrund. Derselbe erhält durch die scheuernde Wirkung des Schlammes eine *glatt polierte Oberfläche*, die durch spitze Steine mit *Ritzlinien* versehen wird (Abb. 103). Felsklippen, die sich dem Gletscherstrom in den Weg stellen, werden auf der Stoßseite gerundet und geglättet; auf der abwärts liegenden Seite bleiben sie rau und zackig (*Rundhöcker*). Solche Rundhöcker besitzen nicht nur die ehemals vergletschert gewesenen Alpentäler, sondern auch die norddeutsche Tiefebene, z. B. in Rüdersdorf bei Berlin, in der Gegend von Leipzig, Kamenz (Abb. 223), Bautzen, Löbau und anderwärts. Gerade jene Rundhöcker waren das Hauptbeweismittel für die einstige Vergletscherung Norddeutschlands. Die Gletschererosion wird aber noch durch einen anderen Umstand begünstigt: Unter dem Gletscher herrscht beständig eine Temperatur, die um den Gefrierpunkt schwankt. Dies bewirkt ein häufiges Gefrieren des Wassers in den Felsspalten, ein fortwährend erneutes Auf-

lockern des Gletscherbodens. Dadurch kommt immer wieder neues Material in die wandernde Grundmoräne, und das Tal vertieft sich. An einem Alpengletscher hat man festgestellt, daß alljährlich etwa 2 cm des Felsgrundes weggenommen werden. Da die Gletschererosion nicht auf eine Linie beschränkt ist, nicht wie eine Säge, sondern mehr wie ein breiter Hobel arbeitet, so erhalten die Gletschertäler nicht einen V-förmigen Querschnitt, sondern die *sanft gerundeten Formen* eines U.

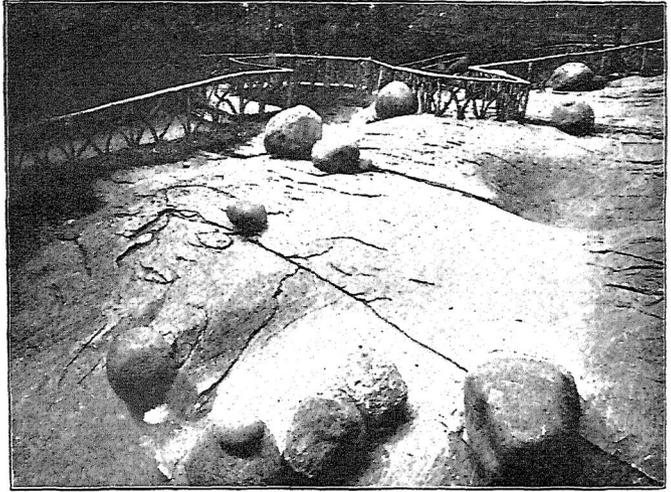


Abb. 103. Gletschergarten in Luzern.

Vom Gletscher geglättete und geschrammte Felsoberfläche und Gletschermühlen.
(Nach Phot. v. Schroeder & Co., Zürich.)

Die Gletschertäler nicht einen V-förmigen Querschnitt, sondern die *sanft gerundeten Formen* eines U.

95. Endziel der Verwitterung und Wasserwirkung. Das Wasser hat als geologische Kraft eine ungeheure Bedeutung. Hier zerstört es chemisch oder mechanisch die Erdkruste, dort baut es mächtige Sedimente auf. Hier schafft es malerische Schluchten, wilde Bergzacken, dort verhüllt es Felsvorsprünge unter den weichen Linien einer Schuttablagerung. So wirkt es scheinbar ganz entgegengesetzt. Aber das Endziel ist doch stets dasselbe. Auch die schroffsten Verwitterungsformen sind nur vorübergehende Zustände, halberstörte Ruinen. Sie alle werden noch weiter zusammenstürzen. Aus wilden Hochgebirgen werden sanftgeschwungene Mittelgebirge, aus diesen langweilige Hügelländer. Solange es noch einen Unterschied zwischen Hoch und Tief auf der Erdoberfläche gibt, wird das Wasser nach abwärts streben, wird oben wegnehmen, unten absetzen. Seine Tätigkeit ist erst zu Ende, wenn der Erdball völlig nivelliert ist — daß dies aber nie eintreten wird, dafür sorgen jene Kräfte der Tiefe, mit denen das nächste Kapitel bekannt machen soll.

Aufgaben: Erkläre auf Grund unserer Erörterungen die Geländeformen deiner Heimat. Welche Charakterformen zeigen die Felsen? Welche Gesteine ragen als Hügel oder Berge aus der Umgebung hervor? Läßt sich das durch chemische oder physikalische Eigentümlichkeit des Gesteins erklären? Suche Beispiele, wo ein hartes Gestein als Schutzdecke für ein weiches dient. Suche am Fuße steiler Uferwände die Schuttkegel, die der abgestürzte Verwitterungsschutt bildet. Bilden einzelne Gesteinsmassen Felsvorsprünge ins Tal? Wo gibt es Felsriegel? Suche Beispiele für Steilufer und Sandbänke an Flußkrümmungen. Wie sucht der Mensch solche Prallstellen vor weiterer Zerstörung zu schützen? Suche ehemalige Prall-

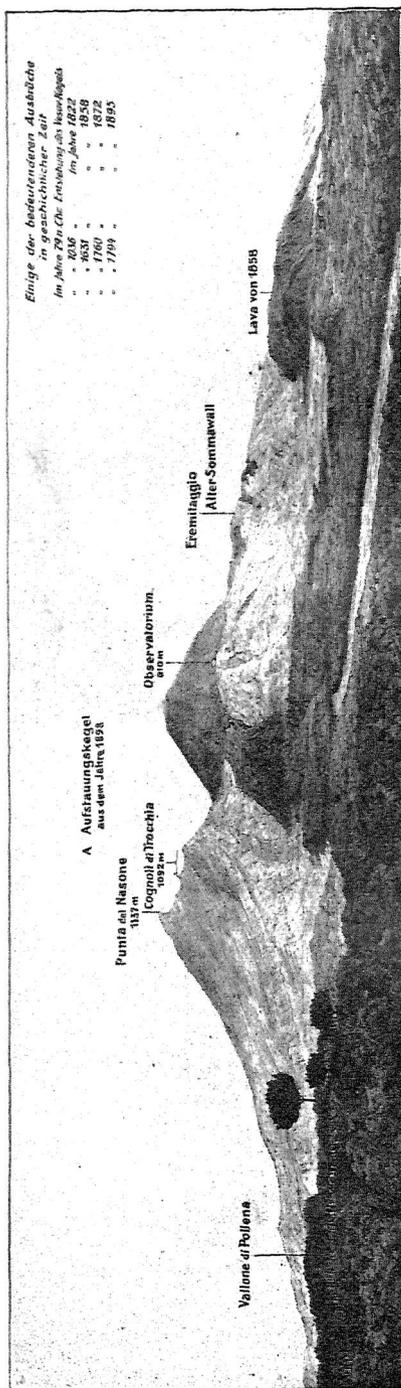


Abb. 104. Westwandansicht vom Vesuv und der Somma in schematischer Abtünung. (Nach A. Stübel, Orig. im Leipz. Museum f. Jänterkr.)

stellen im Talgehänge, von denen der Fluß jetzt sich zurückgezogen hat. Beobachte die erodierende Tätigkeit des Wassers an Regenrinnen, kleinen Bachläufen auf weichem oder sandigem Boden. Beobachte, wie rasch das Wasser einschneidet und sein Bett rückwärts verlegt, wo es steile Abhänge hinabläuft, z. B. auf brachliegenden Baustellen, an unbewachsenen Straßenrinnen, an Sturzbächen nach starken Gewitterregen. Suche auf der Karte Beispiele für Längs- und Quertäler, beachte aber dabei, daß nicht jedes Tal, das rechtwinklig zur Erstreckung eines Kettengebirges verläuft, unbedingt auch ein geologisches Quertal sein muß; man muß nicht nur den Lauf der Gebirgskette, sondern auch die Streichrichtung der Klüfte kennen.

IX. Herkunft der Massengesteine.

Vulkanismus.

96. Der Vesuv als Typus eines Vulkans. Der Vesuv (Abb. 104), seit alter Zeit der Lehrmeister für alle Vulkanforscher, zeigt uns folgende Hauptteile: 1. einen *Kegelberg*, allseitig steil abfallend, auf einem Unterbau stehend, der sich bis zum Meere senkt, 2. einen sichel- oder hufeisenförmigen Bergzug, nach außen sanft abfallend, nach innen mit schroffer Wand, Monte di Somma, kurz „die *Somma*“ genannt (der höchste Teil ist die Punta del Nasone), 3. zwischen beiden Teilen ein überaus wildes, schwer zugängliches Tal, das Atrio del cavallo (= Vorhof für die Pferde), kurz „das *Atrium*“.

Steigen wir aus der reich bebauten Küstenebene auf, so führt uns der Weg durch Weinberge, bis er sich in einer schwarzgrauen Steinwüste verliert: es ist ein erstarrter *Lavastrom* (Abb.

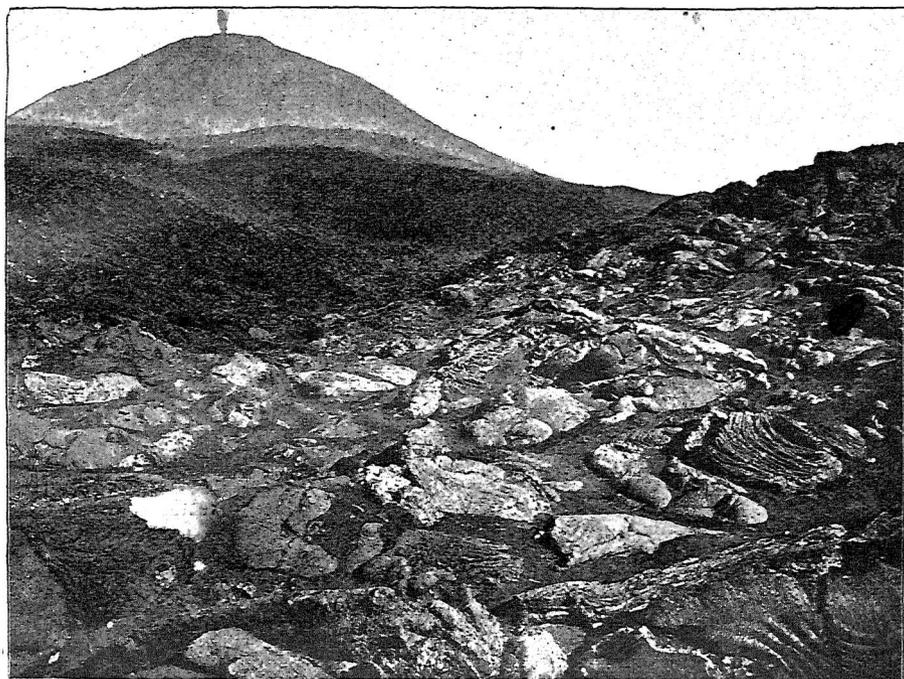


Abb. 105. Aschenkegel des Vesuvs und Lavastrom von 1858. Die Oberfläche zeigt die wulstförmig zusammengeschobenen „Fladen“. (Nach Phot. v. Progi.)

105), die Oberfläche in Schollen geborsten, mit zahllosen Wülsten, Rippen und Zacken bedeckt. Unter stärkerer Steigung gehts weiter durch einen Hohlweg, der uns ein ganz anderes Gestein entblößt: geneigte Schichten eines gelbbraunen Pulvers, untermischt mit Blöcken und Steinen jeder Größe. Es sind jene *Schutt- und Aschenmassen*, die der Vulkan ausgeschleudert und die nun durch Wasser leicht verkittet sind zu „vulkanischem Tuff“ (8). Auf einer schwach geneigten Ebene, Le Piane (bei dem Worte „Eremitaggio“ in Abb. 104), zwischen Lavaströmen und Aschenmassen, erreichen wir den Fuß des eigentlichen „Aschenkegels“. Dieser steigt überaus steil an (33°); der Marsch wird um so beschwerlicher, als die lockere grobe Asche unter unsern Schritten beständig abwärts rieselt. Schließlich sind wir am Gipfel und blicken in einen riesigen tiefen Kessel mit senkrecht abfallenden Wänden und gegenwärtig etwa 600 m Durchmesser, den „Krater“ (Kratēr = der griechische Name für das Gefäß, in dem man Wein und Wasser mischte). Auf seinem Boden baut sich zeitweise wieder ein kleiner Aschenkegel auf, aus dessen oberer Öffnung ständig Wasserdampf quillt, der durch seinen Gehalt an *Schwefeldioxyd* (SO_2) das Atmen erschwert. Von Zeit zu Zeit kommen unter Donnern riesige glühende oder noch zähflüssige Klumpen (*Bomben*), kleinere Steine (*Lapilli*) und feine *Asche* hervor. Ein Teil dieser Massen fällt in den Schlund zurück; ein anderer bleibt auf dem Abhange des Kegels liegen.

Nicht minder furchtbar ist die Rundschau vom Gipfel: seewärts die blühende Landschaft, in die zahlreiche Lavaströme sich todbringend wie die Finger einer Riesenhand hineinstrecken; nach Norden das Atrium, eine zerklüftete Lavawüste, hier und da mit feinen weißen Wölkchen aufsteigenden *Wasserdampfes*; dahinter die steile, klippenreiche Mauer der Somma, an der rotbraune *Bänke festeren Gesteins* leistenförmig aus lockerem Trümmermaterial hervorragen. Wer die Somma von Norden her besteigt (links in Bild 104), findet sie bedeckt mit einem *dicken Mantel gelben Tuffs*, in den zahlreiche Wasseradern tiefe Schluchten eingerissen haben. Weingärten zieren die unteren, Buschwälder die oberen Teile dieses Abhanges.

97. Tätigkeit des Vesuv. Gewöhnlich finden wir den Vesuv wie oben geschildert: dampfend, Blöcke auswerfend, in der Nacht scheinbar feuer-speiend¹⁾, weil dann die glühende Lavamasse des Kratergrundes einen Widerschein in der Dampfwolke hervorruft und weil die glühenden Bomben als Feuerkugeln den Berg herabrollen (Abb. 106).

Steigert sich die Tätigkeit, so platzt in der Regel der Aschenkegel seitlich in einem langen Riß auf, und die flüssige Lava verläßt den Berg, bald rasch plätschernd wie geschmolzenes Eisen, meist aber äußerst zähe, langsam vorwärtskriechend und sich augenblicklich mit einer Schlackenkruste überziehend. Letztere ist fest genug, uns zu tragen, auch wenn auf den Rissen das glühende Innere durchleuchtet und zahlreiche Wölkchen das Entweichen von Gasen andeuten. Ehe aber der ganze Strom erstarrt ist, vergehen Jahre.

Der größte Ausbruch des Vesuvus war im Jahre 79 n. Chr. Damals wußte niemand, daß der Berg ein Vulkan sei. Seine Abhänge waren hoch hinauf mit Weinbergen bedeckt; seine damalige Gestalt ist uns völlig unbekannt. (Die oft gegebenen Abbildungen sind lediglich Phantasiegebilde.) Da eröffnete ein heftiges Erdbeben die Katastrophe; dann erhob sich über dem Gipfel eine gewaltige Wolke aus Wasserdampf und Asche, die Plinius mit einer Pinie vergleicht, und nach wenigen Tagen war die blühende Stadt *Pompeji* unter gelbem Staub, Asche, Bimssteinbrocken begraben, und ein heftiger Gewitterregen verkittete die Massen zu einem festen Tuff, der uns jene Stadt bis heute bewahrt hat. Das benachbarte *Herculaneum* dagegen fiel einem ungeheuren *Schlammstrom* zum Opfer, der sich von dem regen-durchnässten Aschenkegel des Berges bis ins Meer wälzte.

Seitdem sind zahlreiche Ausbrüche oder *Eruptionen* erfolgt, bald vorwiegend mit Asche, bald mit großen Lavaergüssen. 1631 wurden die südlichen Orte zerstört, und die Lava floß bis ins Meer; 1872 wurden die Ortschaften gegen Neapel hin überflutet. In den Jahren 1895—1897 quollen gewaltige Lavamassen hervor, liefen aber nicht stromförmig ab, sondern stauten sich am Fuße des Kegels ganz allmählich zu einem ziemlich be-

1) Seltener schlagen wirkliche Flammen von brennendem CO, CH₄, H heraus.

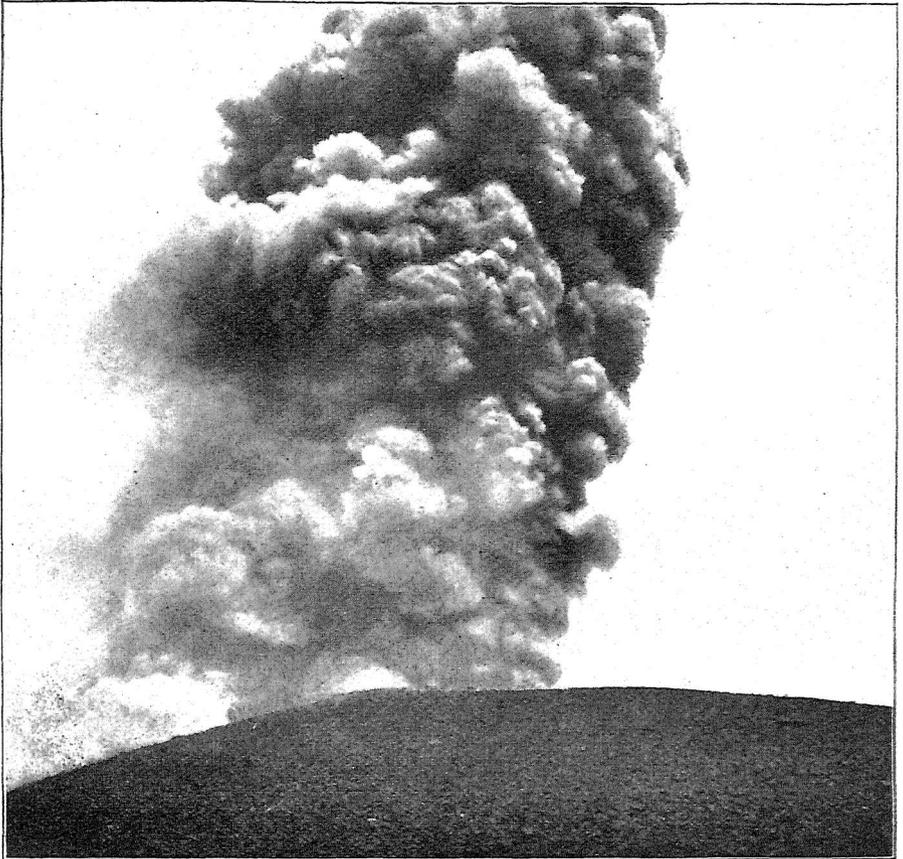


Abb. 106. Eine Dampfexplosion des Vesuvs aus dem Jahre 1900, Bomben, Lapilli und Asche emporwerfend.
(Phot. v. Matteucci.)

deutenden *Hügel* (A in Abb. 104) auf. Die letzte große Eruption im April 1906 ist noch in frischer Erinnerung; sie förderte ungeheure Aschenmassen zutage; die Pinie erreichte eine Höhe von fast 15 km (Abb. 107), und der feine Staub wurde vom Winde bis an die deutsche Ostseeküste getragen. Im Gefolge der Katastrophe stellten sich heftige Gewitterregen ein, die die Asche am Südhang des Kegels völlig durchtränkten, bis sie sich als verheerender *Schlammstrom* abwärts wälzte (vgl. Abb. 110).

98. Die Phlegräischen Felder. Eine Menge vulkanischer Erscheinungen enthüllt uns die Gegend westlich von Neapel, die sogenannten Phlegräischen Felder. Da ist zunächst die *Solfatara*: Ein ebener, elliptischer Kraterboden wird von einem niedrigen Wall umgeben. An dem einen Ende der Ellipse ist ein mehrere Meter hoher, poröser Fels mit einer großen seitlichen Öffnung. Aus dieser strömt heißer Wasserdampf, gesättigt mit Schwefelwasserstoff

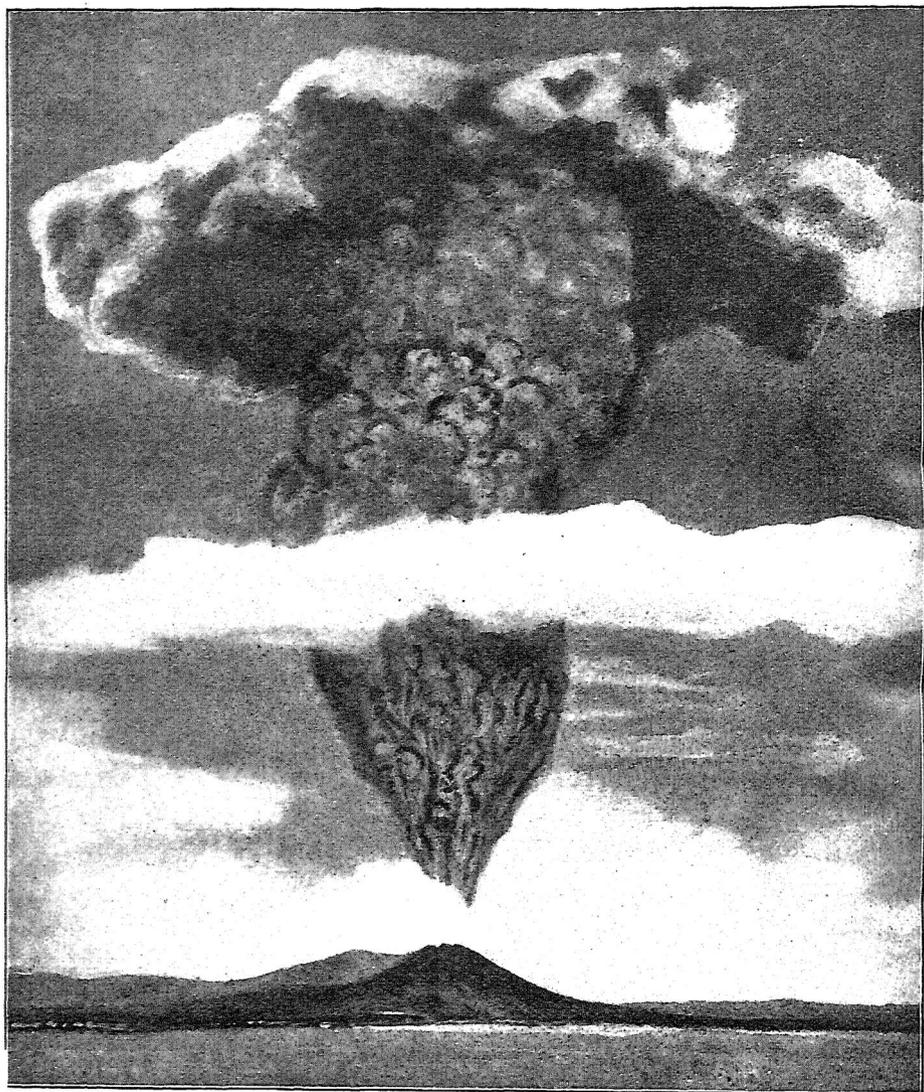


Abb. 107. Pinie des Vesuvs im April 1906, von Capri aus gesehen, etwa 15 km hoch.
(Nach Skizze von O. Kruse, gemalt von Prof. Jaekel. Nat. Woch. Schr.)

Wo aus kleinen Seitenporen Dämpfe austreten, haben sich zierliche Kristallgruppen von gelber, grüner und roter Farbe ausgeschieden. Dem Gehalt an Schwefelwasserstoff und dem Abscheiden gediegenen Schwefels verdankt der Schlund seinen Namen (ital. solfo = Schwefel), den die Wissenschaft jetzt auf alle ähnlichen Vorkommnisse übertragen hat.

Wenige Kilometer davon ist die *Hundsgrotte*: Auf einer ebenen Wiese,

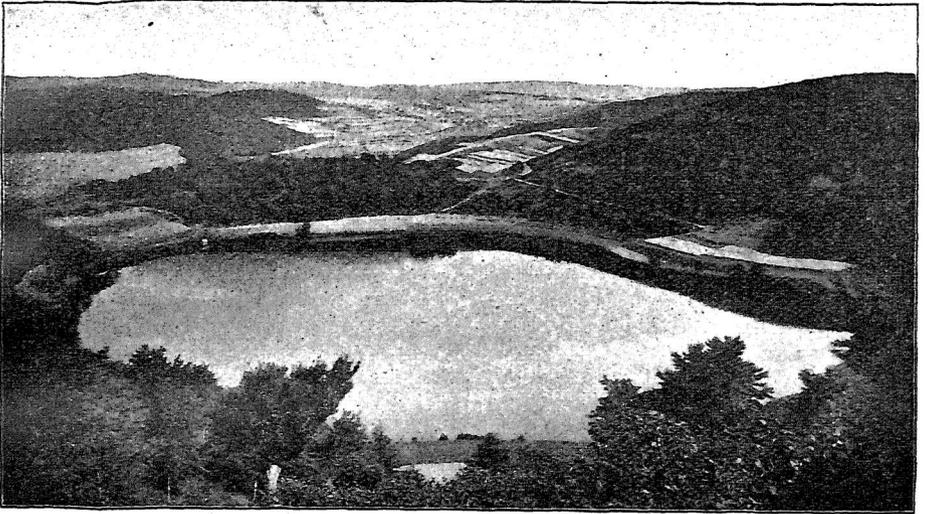


Abb. 108. Gemünder Maar b. Daun in der Eifel. (Phot. v. Quirin-Kyllburg.)

einem ehemals mit Wasser gefüllten Kraterboden, erhebt sich ebenfalls ein einzelner Lavafels mit einer schräg in die Tiefe führenden Öffnung — gleich einer Kellertreppe. Darin wallt ein schweres, randlich überfließendes Gas, die Kohlensäure. Fackeln verlöschen darin; ein hineingehaltener Hund zeigt Erstickungsanfälle — daher der Name. Man nennt jetzt alle solche Kohlensäurequellen mit dem italienischen Worte *Mofetten* (z. B. Burgbrohl in der Eifel).

Nahе der Küste liegen die Ruinen eines alten römischen Badeortes. Die

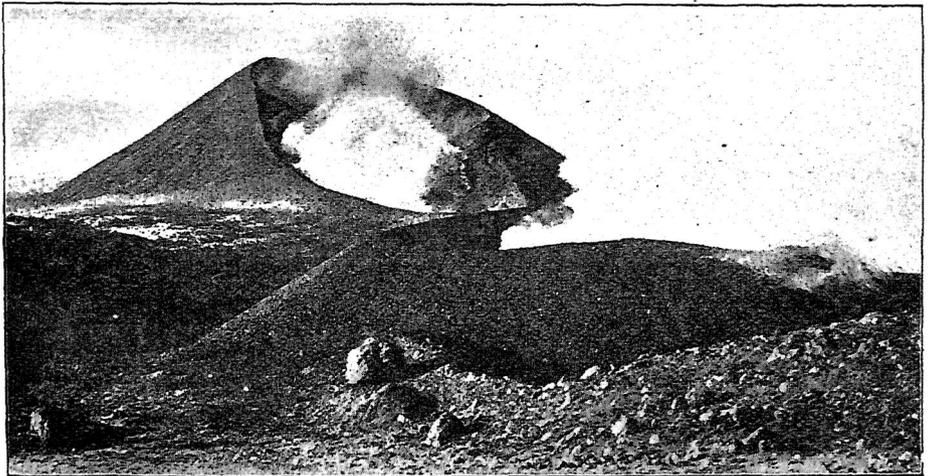


Abb. 109. Zwei Seitenkegel des Ätnas von der Eruption 1892. Sie zeigen deutlich die Zusammensetzung aus losem Material. (Phot. v. Ledru Mauro.)

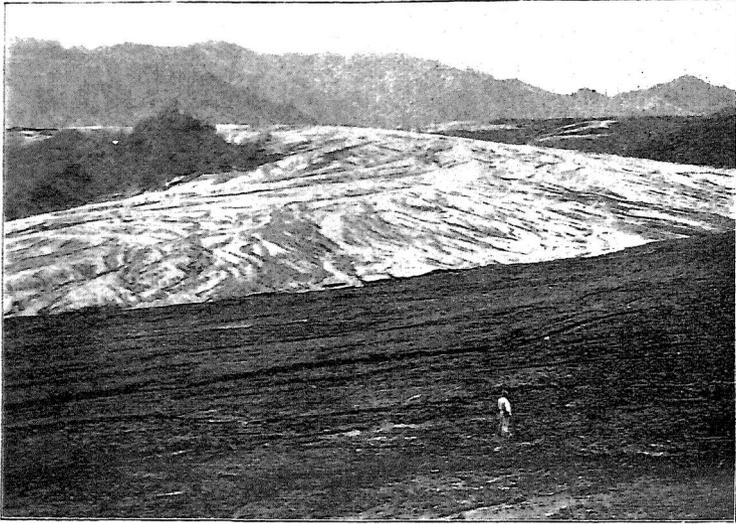


Abb. 110. Südostseite der Soufrière auf St. Vincent (Westindien). Der weißliche, aus Asche bestehende Schlammstrom füllt eine fast 70 m tiefe Schlucht aus. (Nach Hovey.)

Römer hatten dort Dampfbäder, zu denen das Erdinnere selbst den Wasserdampf lieferte. Die Stellen, die noch heute dampfen, heißen *Fumarolen* (ital. fumare = rauchen). Eine Anzahl kleiner Kraterberge, darunter der im Jahre 1538 aus Asche und Schlacken aufgebaute *Monte nuovo*, sowie einige *Kraterseen* liegen in der Nachbarschaft.

99. Andere europäische Vulkangebiete. Bis vor die Tore Roms reichen einige Lavaströme, die dem *Albanergebirge* entstammen. Dieses Gebirge zeigt uns einen neuen Typus vulkanischer Schöpfungen. Es sind zwei ineinander liegende *Ringe*, also Formen, die uns an die *Somma* erinnern. Außerdem liegen hier eine Anzahl wassergefüllter Becken, deren steilwandige Umrandung sich deutlich als Kraterbildung kennzeichnet. Aber der Krater ist nicht auf dem Gipfel eines Berges, sondern fast in der Ebene; er hat sich gebildet durch eine plötzliche Explosion von Gasen, wobei ein Trichterloch entstand. Die Trümmer fielen zum Teil am Rande des Trichters nieder, zum Teil halfen sie den Schlund desselben verstopfen. Man nennt solche Bildungen, bei denen Lavaergüsse so gut wie völlig fehlen, *Explosionskrater*. Füllt sich ein solcher mit Wasser, so entsteht ein See, den wir nach den Vorkommnissen in der Eifel als *Maar* (= kleines Meer) bezeichnen (Abb. 108).

Der Riese der europäischen Vulkane ist der *Ätna* (italienisch Etna). Frei erhebt er sich auf einer gewaltigen Basis von 1200 qkm vom Meeresspiegel bis zu 3300 m Höhe. Ein Aschenkegel krönt den flachgewölbten Gipfelteil; ein mächtiges *Seitental* (Valle del Bove) ist in seine Ostflanke ge-



Abb. 111. Cotopaxi, tätiger Vulkankegel in Ecuador. (Nach Stübel.)

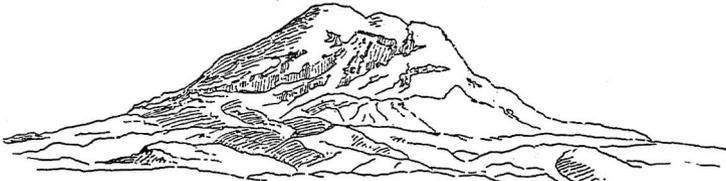


Abb. 112. Chimborasso, Domberg ohne Gipfelkrater. (Nach Stübel.)

rissen — gleich einem riesigen Steinbruch. Vor allem aber ist er merkwürdig durch die zahlreichen kleinen *Seitenkegel*, aus denen die Eruptionen meist erfolgt sind, weil ein Aufsteigen der Lava bis zum Hauptkrater zu gewaltigen Druck erfordert haben würde (Abb. 109). Jeder solche Kegel ist das Werk eines einzigen Ausbruches.

Nahe bei Sizilien liegen die Insel *Volcano* und der fortwährend dampfende *Stromboli*, das Wahrzeichen der Schiffer.

Zum griechischen Archipel gehört die Inselgruppe *Santorin*, ein zerbrochener, der Somma vergleichbarer Ring, und einige vulkanische Mittelinseln, auf denen der Vulkan Georgios im Jahre 1866 sich ohne sichtbare Krateröffnung durch *Einstauung der Lava von innen* aufgetürmt hat.

Endlich ist noch eine Gruppe von Kraterbergen in der französischen Auvergne, die der *Puys*, erwähnenswert. Wir sehen dort Formen, ganz ähnlich wie in den Phlegräischen Feldern oder in der Umgebung des Ätna, daneben aber auch kraterlose Lavakegel. Zu letzteren gehört der oftgenannte Puy de Dôme. Ihre Tätigkeit endete in einer früheren Erdperiode, wir rechnen sie im Gegensatz zu den *tätigen* unter die *erloschenen*, besser *ruhenden* Vulkane.

100. Außereuropäische Vulkangebiete. Eine Menge — teils ruhender, teils tätiger — Vulkane begleitet rings die Küsten des *Großen Ozeans*: auf Sumatra, Java (in der Sundastraße der berühmte Inselvulkan Krakatau, dessen eine Hälfte im Jahre 1883 durch Explosion zerstört wurde), in Japan (der heilige Berg Fudschiyama), Kamtschatka, Nordamerika, Westindien (Abb. 110), in den Anden von Südamerika.



Abb. 113. Rumiñahui, mit großer seitlicher Caldera. (Nach Stübel.)



Abb. 114. Pichupichu in Bolivien. Vulkanberg mit sehr großer Caldera. (Nach Stübel.)



Abb. 115. Pululagua (nördlich von Quito), ein Sommassberg, im Innern ein Zentralkegel. Pondoña. (Nach Stübel.)

Namentlich letztere tragen, auf ihren Hauptketten aufsitzend oder in der breiten Hochebene zwischen diesen, eine überaus große Zahl, und wir erkennen an ihnen die *Mannigfaltigkeit in der Form vulkanischer Bauten*, z. B. den kegelförmigen Cotopaxi und Sajama, den domförmigen Chimborasso, den Rumiñahui mit großem Seitenkrater (Caldera), den Pichupichu, einen Ringwall mit ungeheurer Caldera, den Pululagua, der mit der zentralen Pondoña an den Sommassberg erinnert, u. a. (Abb. 111—115).

Mitten im Großen Ozean, auf der Insel Hawaii, liegt der ganz flach schildförmige Vulkan Mauna Loa, an dessen Abhang sich der Kilauea befindet, ein 600 m breiter Krater mit einem beständig kochenden Lavasee.

In *Afrika* sind der Kilima-Ndscharo, Kenia und Kamerunberg die bekanntesten Vulkanbaue.

Die *Oberfläche des Mondes* zeigt Formen, die mit unsern irdischen Vulkanen überaus große Verwandtschaft haben. Teils sind es Ringgebirge mit elliptischem, ebenem Innenraum von ungeheurer Ausdehnung (z. B. 248 und 100 km Beckendurchmesser) (Abb. 116), teils weite Kessel mit einem zentralen Kegel (Abb. 117). Deshalb glauben auch viele Forscher an einen vulkanischen Ursprung dieser Gebilde.¹⁾

101. Anordnung und äußere Form der Vulkanberge. Aus den angeführten Beispielen erkennen wir, daß sich die Vulkane besonders häufen an

1) Andere erklären sie durch den Aufsturz fremder Weltenkörper.

Rändern der Kontinente, in den Gebieten der Mittelmeere, in der Nähe großer Bruchspalten (z. B. afrikanischer Graben). Die Formen, so mannigfaltig sie im einzelnen sind, lassen sich auf gewisse, oft sich wiederholende Typen zurückführen. Die wichtigsten derselben sind:

1. Domberge ohne Krater (Chimborasso).
2. Kegelberge mit Krater (Cotopaxi).
3. Ringberge mit weiter Mittelebene, sog. Caldera (Mond).
4. Hufeisenberge mit seitlicher großer Caldera (Rumiñahui).
5. Doppelberge mit altem Ringwall und jüngerem Mittelkegel (Mond).
6. Doppelberge mit zerstörter sichelförmiger „Somma“ und jüngerem Mittelkegel (Vesuv).

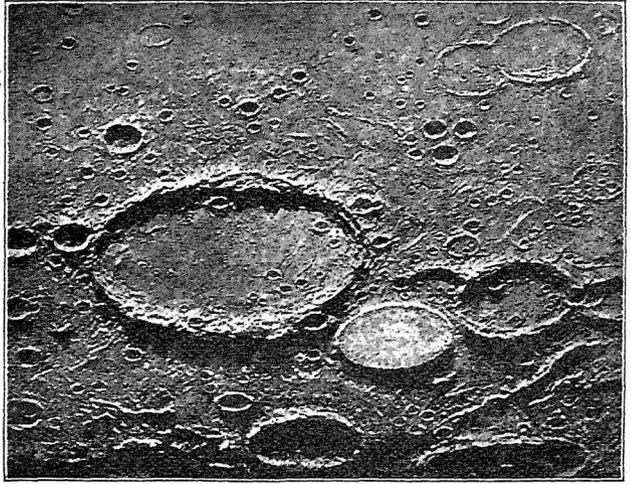


Abb. 116. Mondoberfläche mit Ringgebirgen: die beiden größten haben 248 und 100 km Durchmesser. (Nach Nasmyth.)

102. Entstehung und innerer Bau der vulkanischen Massen. Wenn ein vulkanischer Herd große Mengen dünnflüssiger Lava herausbefördert, so hat diese das Bestreben, möglichst breit zu laufen: sie erstarrt in Form einer „Decke“; es bildet sich ein flaches Plateau; riesige Decken von 10–50 m Mächtigkeit findet man auf dem Hochland von Dekhan. Wird die Lava am Breitfließen durch eine vorhandene Talrinne gehindert, so läuft sie wie ein Fluß in derselben abwärts und erstarrt als *Strom*. Ströme bilden sich auch ohne Tal, wenn die

Lava in geringerer Menge über geeigneten Boden geht, wie in der Nachbarschaft des Vesuvs. Ist die Lava etwas zäher, so bildet sie zunächst eine

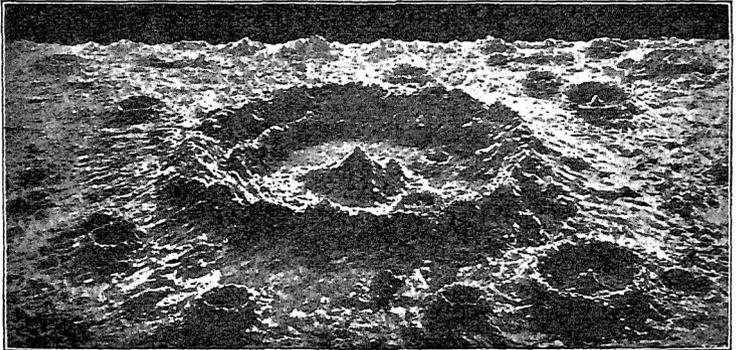


Abb. 117. Ein Mondringgebirge mit Zentralkegel (Nach Nasmyth.)



Abb. 118. Flacher Vulkanberg, durch Übereinanderfließen von Lavadecken entstanden und deshalb aus Bänken aufgebaut. (Nach Stübel.)



Abb. 119. Vulkanberg, durch Einstauen von innen her entstanden, Staukegel. (Nach Stübel.)

Decke, die aber bald erstarrt mit Ausnahme des über dem Eruptionskanal gelegenen Teiles. Dort strömen neue Massen nach und breiten sich über der ersten Decke aus. So entsteht ein Übereinander von Decken, die immer kleiner ausfallen. Das Ergebnis ist ein *flachglockenförmiger* Berg, der sich scheinbar aus Schichten, besser gesagt aus *Lavabänken* aufbaut (Abb. 118). Oder die Lava sackt sich von unten her in die zuerst gebildete Decke, bläht diese unter zahlreichen Zerreißen auf und bildet einen „*Staukegel*“ (Georgios) (Abb. 119). Wo die vulkanische Tätigkeit nur gering ist, so daß die lockeren Auswurfsmassen überwiegen, wo die einzelnen Eruptionen durch Pausen getrennt sind, entsteht ein Kegel aus schrägen Tuffschichten, zwischen die sich nur hier und da Lavaströme einschalten. Diese *Schichtvulkane* (Abb. 120) (Vesuvkegel) sind höchst unbedeutende Gebilde gegenüber den gewaltigen Lavabergen z. B. Südamerikas.

Wenn ein verhältnismäßig niedriger Ringwall einen überaus großen Krater umschließt, ist es unwahrscheinlich, daß letzterer durch Ausblasen während der Explosion entstanden ist. Nach Stübel entstehen solche Gebilde, wenn am Schlusse einer Eruption der Druck von unten nachläßt und Teile der Lava in den Schlot zurückfließen. Er bezeichnet sie deshalb als *Rückzugscalderen*. (Vgl. Mondringgebirge, Vesuvsomma?, Abb. 121, 122.) Der Ausdruck *Caldera* (spanisch *Caldeira*) galt ursprünglich für einen 7 km breiten Kraterkessel mit schluchtenförmigen Ausgang auf der kanarischen Insel Palma.

103. Entstehung vulkanischer Gesteine aus den Schmelzmassen. Die Laven, die unseren tätigen Vulkanen entströmen, sind nur in ihrer obersten Kruste so wulstig und blasig, wie wir sie bei der Vesuvwanderung kennen lernten. In größerer Tiefe bilden sie feste Felsmassen, die in zahlreichen Steinbrüchen als treffliches Pflasterungsmaterial gewonnen werden und sich in nichts von den Gesteinen unterscheiden, die wir früher



Abb. 120. Schichtvulkan, in einzelnen Eruptionen aus losem Material aufgebaut.

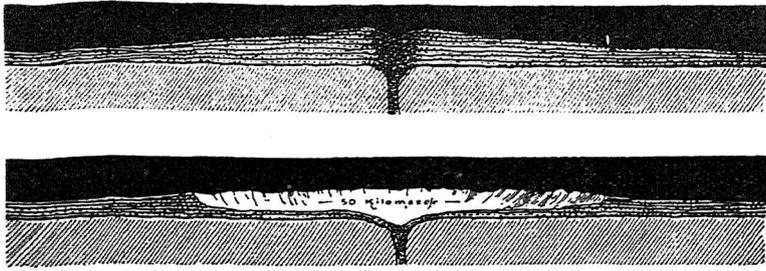


Abb. 121, 122. Entstehung eines weiten Kraters, einer „Caldera“, durch Zurückströmen von Lava in den Schlund und Nachbrechen der bereits erstarrten Bergoberfläche.
(Nach Stübel.)

unter dem Namen Basalt oder Trachyt beschrieben haben. Wir bezeichnen deshalb diese nun als *vulkanische Gesteine* und verfolgen ihre Entstehung etwas genauer.

Wo der *Ursprungsort der Lava* ist, wissen wir nicht. Die meisten Forscher suchen ihn aber heute nicht mehr im innersten Kern der Erde, sondern nehmen innerhalb der festen Erdkruste begrenzte Herde flüssiger Massen an („*Periphere Herde*“ nach Stübel). In jenen Herden befindet sich eine zähe Masse, bestehend aus Kieselsäureverbindungen, beladen mit einer Menge stark zusammengepreßter oder auch noch chemisch gebundener Gase, besonders Wasserdampf. Bei fortschreitender Abkühlung kristallisieren aus dem Teig, wie aus einer gesättigten Lösung, einzelne Mineralien z. B. Feldspat, Leucit, Augit. Diesen rings eingeschlossenen gas- und kristallreichen Gesteinsbrei bezeichnen wir als Magma (gr. = geknetete Masse).

Erstarrt das Magma in der Tiefe völlig, so entsteht in überaus langen Zeiträumen ein kristallinisches Gemenge, das Wasser und stark zusammengepreßte, sogar verflüssigte Gase in feinsten Hohlräumen enthält. Nach seiner mineralogischen Zusammensetzung heißt es nun Granit, Syenit usw. Ein großer Teil des Magmas aber sprengt gewaltsam seine feste Hülle und dringt nach oben. Welche Kraft dieses Aufsteigen hervorruft, läßt sich nicht sicher angeben¹⁾; jedenfalls aber spielen freiwerdende Gase dabei eine Rolle. Das Magma kann nun auf seinem Wege nach oben bereits steckenbleiben, sei es im eigentlichen Kanale, sei es, indem es sich zwischen Schichtgesteine einzwängt, diese auseinanderblättert oder gar emporwölbt (Lakkolithe, von

1) Vermutet wird z. B.: Ausdehnung beim Verfestigen wie gefrierendes Wasser; Ausdehnen und Schmelzen von festem Magma bei Druckentlastung; Vergrößerung des Gasvolums durch die beim Erstarren freiwerdende Wärme; Bildung von wasserfreien Silikaten beim Kristallisationsvorgang und Freiwerden großer Wasserdampfmenge; Durchschmelzen der Deckschichten mit Hilfe glühender Gase, die wie eine Lötrohrflamme wirken.

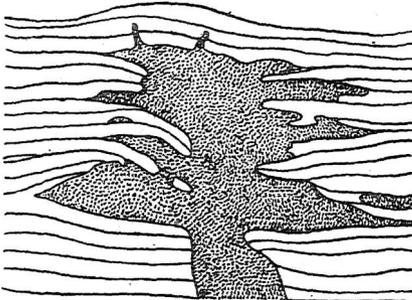


Abb. 123. Lakkolith: das Magma durchbricht die Schichtgesteine, zwängt sich zwischen die Gesteinslagen ein, hebt dieselben teilweise. Oben dringen flüssige Massen in die Deckschichten, ein Beweis, daß letztere bereits vorher abgelagert waren. (Nach Weinschenk.)

gr. lakkos = Grube¹⁾) (Abb. 123). In allen diesen Fällen ist das Erstarrungsprodukt granitähnlich, kristallinisch. Erreicht das Magma aber die Erdoberfläche, so ändert es wesentlich seine Beschaffenheit: es wird *entgast*, wird zu *Lava*. Die Gase können oft schwer aus dem zähen Brei entweichen: sie blähen ihn auf, bilden *Blasen* oder gar eine völlig *schaumige* Masse. Der bisher halbflüssige, ungefähr 1000° heiße Teil der Lava erstarrt völlig, indem er die bereits in der Tiefe gebildeten Kristalle, die „*Erstgeborenen*“, in sich einschließt (Abb. 81), ebenso die Gesteinsbrocken, die er innerhalb des Eruptionskanals aufgenommen hatte. Geht die Erstarrung rasch vor sich, so bildet sich eine *Glasmasse*. Ist genügend Zeit vorhanden, so entstehen mikroskopisch kleine Kriställchen, die sich oft infolge langsamer Strömungen innerhalb der erstarrenden Lava untereinander wie schwimmende Holzschichte parallel stellen: *Fließstruktur* oder *Fluidalstruktur* (lat. *fluidus* = flüssig) (Abb. 89, 91).

Nach dem Vorhergehenden ergeben sich also für Gesteine, die aus glutflüssigem Magma durch Abkühlung und Erstarrung entstanden sind (*Erstarrungsgesteine*, *Eruptivgesteine*), folgende *Merkmale*:

1. *Blasige Struktur* (äußere Lavakruste, Bimsstein),
2. *Glasige Struktur* (Obsidian, Pechstein, Glasbasalt),
3. *Porphyrische Struktur* (in der Tiefe kristallisierte „Einsprenglinge“ und oberflächlich erstarrte Grundmasse),
4. *Vollkristalline, körnige Struktur* (bei sehr langsamer Abkühlung),
5. *Fließstruktur* (Fluidalstruktur), (Kristalle lagern parallel, in Strömen),
6. *Einschlüsse* stark zusammengepreßter *Gase* (flüssige Kohlensäure) und *Wasser*, (häufig z. B. im Granit),
7. *Einschlüsse fremder Gesteinsbrocken* (z. B. Sandstein, Schiefer im Basalt).

Prüfen wir daraufhin die früher als „*Massengesteine*“ bezeichneten Felsarten, so werden wir diese jetzt sämtlich als Eruptivgesteine erkennen, die entweder langsam und in Gegenwart von eingeschlossenen Gasen in der Tiefe (*Tiefengesteine*, *plutonische Gesteine*) oder unter Abgabe von Gasen nahe der Erdoberfläche (*Oberflächengesteine*, *Ergußgesteine*, *vulkanische Gesteine*) erstarrt sind. In den Basaltgängen usw. sehen wir nun ehemalige Eruptions-

1) Andere Forscher vermuten, die Lakkolithe seien Ergüsse auf dem Boden der Ozeane.

schlote, in den Basaltgipfeln einstige Domvulkane¹⁾ oder Reste von Lavaströmen, in den Porphydecken breit geflossene Lavamassen. In gewissem Sinne gehören auch die *vulkanischen Tuffe* hierher, die wir unter den äolischen Sedimenten kennen gelernt haben. Sie enthalten staubfeine Lavateilchen, Glas-, Bimsstein- und Schlackenfetzen von scharfkantigem Umriß, gröbere Lavaklumpen und eckige

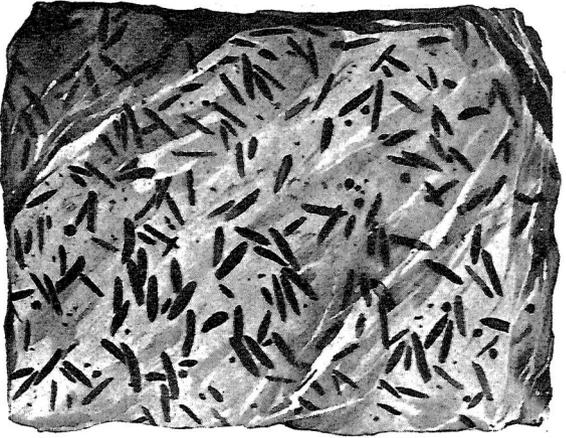


Abb. 124. Fruchtschiefer von Tirpersdorf i. V. (Orig. d. Verf.)

Bruchstücke der vom Vulkan durchbrochenen Gesteinsmassen. Alle Arten von Ergußgesteinen können von Tuffen begleitet sein. So gibt es *Porphyrtuffe* (Abb. 90), Diabas-, Basalt-, Trachyttuffe u. a.

104. Einwirkung des Magmas auf das Nebengestein. Es gibt noch ein anderes Merkmal, an dem man die Erstarrungsgesteine erkennen kann; das sind die Veränderungen, die Hitze und ausströmende Gase des Magmas in dessen Umgebung hervorgerufen haben. Geht ein Lavaström über ein *Ton-, Mergel- oder Lehmlager*, so wird dies zu einer *ziegelähnlichen* roten Masse gebrannt und zerspringt dabei in lauter senkrechte Säulchen. *Braunkohle* verwandelt sich — wie in der Gasfabrik — in *Koks* oder in *Anthrazit*. *Sandstein* erhält ein *glasiges* Aussehen, weil sein Zement schmilzt, und zerspringt ebenfalls in Säulen. Diese reinen Hitzewirkungen, „*Eritungen*“, betreffen nicht nur das anstoßende Nebengestein, sondern auch jene Brocken, die die Lava auf ihrem Wege in sich aufgenommen hat.

Viel weitergehend aber sind die Wirkungen, die während der Erstarrung von Tiefgesteinen sich geltend machen. Hier äußert sich nicht nur die Hitze stärker und länger, sondern das Magma gibt die mannigfachsten Gase ab, die durch die feinsten Fugen des Nachbargesteins einen Ausweg suchen, und die Bildung neuer Mineralien hervorrufen. Gewöhnlicher *Kalkstein* oder *Kreide* verwandelt sich z. B. in der Nachbarschaft eines Granitmagmas in reinen, zuckerkörnigen *Marmor*. Die Verunreinigungen, die früher im ganzen Gestein fein verteilt waren, kristallisieren selbständig und bilden allerhand Silikatmineralien, wie Hornblende, Glimmerblättchen, Granate usw. Die *Tonschiefer*, die als einstiger Meeresschlamm das feinste Trüm-

1) Doch hält man jetzt viele Kegelberge für in einiger Tiefe erstarrte Lakkolithe, die erst nachträglich von ihrer weicheren Hülle aus Tuff oder Wassersedimenten durch Verwitterung befreit worden sind, z. B. die Phonolithkegel des Böhmisches Mittelgebirges und die kegelförmigen Puy's in Frankreich.

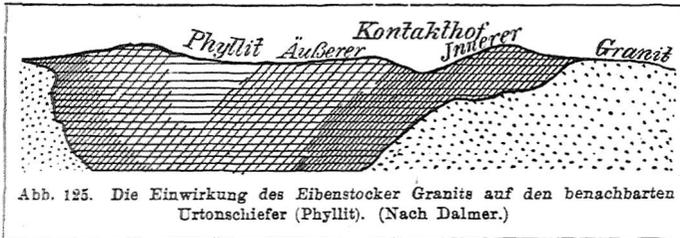


Abb. 125. Die Einwirkung des Eibenstocker Granits auf den benachbarten Urtonschiefer (Phyllit). (Nach Dalmer.)

mermaterial enthalten, werden besonders stark beeinflusst und bis zu einer völlig kristallinen Felsart umgebildet. Schon 5 km

von der Eruptivmasse entfernt kann man schwache Änderungen im Schiefer merken. Auf den Schieferungsflächen treten kleine schwarze Knoten (wie Getreidekörner auf (*Knotentonschiefer*, *Fruchtschiefer*)) (Abb. 124). Wo es möglich war, die Zusammensetzung der Knoten unter dem Mikroskop zu bestimmen, fanden sich gerundete Kristalle von Andalusit oder Kordierit (einem Magnesium-Aluminiumsilikat), die die Kohlenstoffsubstanz des Schiefers in sich aufgenommen hatten. An anderen Stellen bilden Hornblendenadeln garbenförmige Anhäufungen (*Garbenschiefer*). Mehr und mehr wird nun auch die eigentliche Schiefermasse umgewandelt; sie wird glimmerartig (*Knotenglimmerschiefer*). Je näher wir dem Eruptivgebiet kommen, desto härter, splitttriger wird der Schiefer (*Hornschiefer*), bis er schließlich jede Schichtung verliert und zu einem dunklen, harten, splitttrig brechenden Gestein wird, das man *Hornfels* nennt, und das ein Gemenge von Quarz mit Tonerdosilikaten (Feldspat, Glimmer, Granat, Andalusit) darstellt. Man nennt alle derartigen Umwandlungen, die durch Berührung mit dem Magma hervorgerufen werden, *Kontaktmetamorphose* (= Berührungsumwandlung). Jeder Eruptivstock ist von einer mehr oder weniger breiten Zone von umgewandelten oder *Kontaktgesteinen* umgeben, und man nennt eine solche Zone einen *Kontaktthof*. Die Granite des westlichen Erzgebirges (Abb. 125) und das sächsische Granulitgebirge besitzen ausgezeichnete Kontaktthöfe (Abb. 88, 1 u. 2).

105. Mineralbildungen an Vulkankratern. Wir haben gesehen, daß Vulkane nicht nur Lava und Asche, sondern auch große Mengen von Gasen und Dämpfen liefern. Unter diesen nennen wir: Wasserdampf (H_2O)¹⁾, Schwefelwasserstoff (H_2S), das Anhydrid der schwefligen Säure (SO_2), Wasserstoffgas (H), gasförmige Kohlenwasserstoffe (z. B. CH_4), Kohlendioxyd (CO_2), Ammoniakgas (NH_3), Salzsäure (HCl), Borsäure (H_3BO_3), Flußsäure (HF), Nebel von Salmiaksalz (NH_4Cl) und Eisenchlorid ($FeCl_3$). Das Schicksal dieser Stoffe ist verschieden. Ein Teil setzt sich nach erfolgter Abkühlung in fester Form ab; er *sublimiert*, z. B. das Salmiaksalz und das überaus häufige Eisenchlorid, das bisweilen die Kraterwände völlig gelb färbt und oft für Schwefel gehalten wird. Andere *entzünden sich an der Luft* und liefern neue Verbrennungsprodukte: Wasserstoff gibt Wasser, Kohlenwasserstoff Kohlen-

1) Die vulkanischen Gase sind zunächst völlig trocken; der Wasserdampf der „Pinie“ ist Neubildung oder der umgebenden Luft entzogen.

dioxyd und Wasser. Schwefelwasserstoff verbrennt entweder vollständig zu Wasser und zu Schwefeldioxyd ($\text{H}_2\text{S} + 3\text{O} = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$) oder unvollständig unter Abscheidung von Schwefelpulver ($\text{H}_2\text{S} + \text{O} = \text{H}_2\text{O} + \text{S}$). Noch andere Stoffe treten in chemische Wechselersetzung; z. B. Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxyd geben Wasser und Schwefel ($2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$). Geht Schwefelwasserstoff durch Wasseransammlungen, wie an der Solfatara, so nimmt er Sauerstoff auf, und es setzt sich feiner Mehlschwefel ab ($\text{H}_2\text{S} + \text{O} = \text{H}_2\text{O} + \text{S}$). Zahllose andere Mineralneubildungen lassen sich nachweisen (z. B. Eisenoxyd aus Eisenchlorid u. a.).

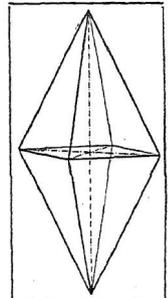


Abb. 126. Einachsiger Schwefelkristall; rhombische Pyramide.

Das wichtigste Mineral bleibt aber der *Schwefel*, der vielfach an Kratern auch technisch ausgebeutet wird. Ob freilich die großartigen Schwefellagerstätten in Sizilien (Girgenti) vulkanischen Ursprungs sind, gilt als sehr zweifelhaft. Man findet dort Schichten von Gips und hellen bituminösen Schiefer mit Fisch- und Pflanzenresten. In den Schiefer sind Schwefellagen von 1—3 cm Dicke eingeschaltet. Vielleicht handelt es sich hier auch um eine Entstehung aus Schwefelwasserstoff; aber dieser wurde von faulenden Tierresten gebildet. Stellenweise ist der Schwefel prächtig kristallisiert. Die Grundform ist dann eine Pyramide mit rhombischem Querschnitt (Abb. 126).

106. Nachwirkungen der Eruptionen. Nachdem die Hauptmasse des Magmas bereits zur Ruhe gekommen und in der Erstarrung begriffen ist, äußert sich die vulkanische Kraft noch geraume Zeit. Wie die Lavaströme während der Abkühlung platzen und neue Lava die Wunden verschließt, so geschieht es auch innerhalb der Tiefengesteine. Nachschübe von Magma erstarren in den Spalten zu einem meist feinkörnigen *Ganggestein*. Schließlich dringen nur *Wasserdämpfe*, *Kohlensäure*, *schweflige Säure*, *Salzsäure*, *Flußsäure* (Fluorwasserstoff), *Borsäure* aus der Tiefe, oder *heißes Wasser* bringt gelöste Salze mit herauf, in denen sich die genannten Säuren mit Alkalien oder alkalischen Erden verbunden haben. Diese vulkanischen Nachspiele haben eine außerordentliche Bedeutung; denn eine große Reihe von Mineralien, darunter auch die volkswirtschaftlich wichtigsten *Edelsteine* und *Erze*, verdanken ihnen die Entstehung. Es handelt sich dabei entweder um völlige Neubildungen oder Umbildungen, die sich sowohl in den Klüften, als auch in deren Nachbarschaft abspielen. Zu den Mineralneubildungen gehören außer den uns bereits bekannten (Turmalin, Apatit) z. B. der Flußspat und der Topas.

Flußspat (Fluorkalzium, CaF_2 , *Fluorit*) bildet prächtige Kristallgruppen, meist Würfel, seltener *Oktaeder* (begrenzt von acht gleichseitigen Dreiecken) (Abb. 290). Oft sind zwei Würfel in schräger Stellung durcheinandergewachsen (*Durchwachszwillinge*) (Abb. 128), oder die Ecken des Würfels sind von kleinen Dreiecken abgeschrägt (*Kombination* von Würfel und Oktaeder) (Abb. 127). Man kann diese Kombination leicht durch Schlag künstlich

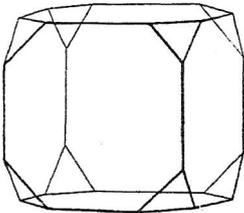


Abb. 127. Würfel, dessen Ecken durch Oktaederflächen abgestumpft sind.

herstellen, weil der Flußspat parallel zu den Oktaederflächen spaltbar ist. Die Farbe ist weingelb, violett oder grün. An den englischen Flußspaten kann man oft beobachten, daß sie beim Durchsehen anders gefärbt erscheinen als im auffallenden Lichte, z. B. grün und blau, grau und blau. Diese Eigentümlichkeit (die auch das Petroleum zeigt) heißt nach ihrem Vorkommen beim Fluorit *Fluoreszenz*. Pulvert man den Flußspat, so erhält man ein weißes Mehl; die schöne Farbe haftet also nicht am Stoffe selbst. Erhitzt man ein Bruchstück in der Gasflamme, so erhält es die Fähigkeit, im Dunkeln wie Phosphor zu leuchten (*Phosphoreszenz*). Flußspat läßt sich nicht mit dem Fingernagel, aber schon mit einem Glassplitter ritzen und eignet sich deshalb trotz der schönen Farbe nicht als Edelstein. Da Fluorit leicht schmilzt, benutzt man ihn als Zusatz in Hochöfen, um die Schlacken dünnflüssiger zu machen.

Topas besteht aus Kieselsäure, Tonerde und viel Fluor. Er ist weingelb bis wasserklar, und da er an Härte selbst den Bergkristall übertrifft, hat man ihn bisweilen als Diamant verkauft. Seine Kristalle sind meist Säulen vor zusammengedrückt achtseitigem Querschnitt, oben von vier schrägen Flächen abgeschlossen (Abb. 129). Bei Auerbach i. Vogtland wurde am *Schneckensteinfels* ein merkwürdiges Trümmergestein gewonnen, dessen schiefrige Bruchstücke durch Bergkristalle und Topase gewissermaßen verkittet waren. Jetzt hat dieser Abbau aufgehört, da man den Topas kaum noch als Edelstein verwertet (Tafel II, 6).

Wichtiger als die Mineralneubildungen sind die oft überaus tiefgreifenden *Umbildungen* der vorhandenen Massen, die man als *vulkanische Zersetzungsvorgänge* zusammenfaßt. Hierher gehören viele Vorgänge, die man früher als einfache Verwitterungserscheinungen anführte, z. B.:

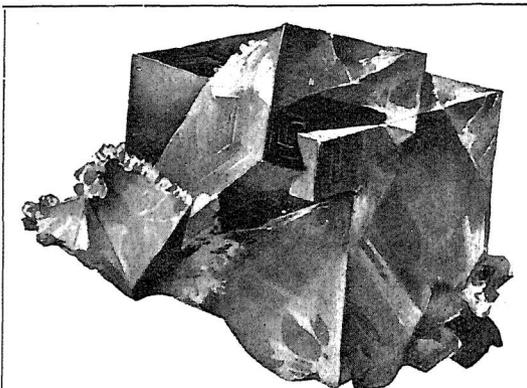


Abb. 128. Gruppe tiefblauer Flußspatwürfel aus Durham. Durchwachsungszwillung mit Wachstumstreifen. Die rechte Ecke zeigt die Spaltbarkeit parallel den Oktaederflächen. (Orig. d. Verf.)

einfache Verwitterungserscheinungen anführte, z. B.:

Kaolinbildung (Kaolinisierung). Sie tritt namentlich in Graniten und Quarzporphyren auf und ergreift in erster Linie den *Feldspat*. Aus diesem wird das Kali ebenso völlig entfernt wie Natron und Kalk; auch die kleinen eingeschlossenen Apatite verschwinden vollständig. Es entsteht eine weiße, pulvrige Masse, die *Porzellanerde* oder *Kaolin* (chin. Kao-ling = Porzellan), von der chemischen Zusammensetzung $Al_2O_3, 2SiO_2$,

$2\text{H}_2\text{O}$. Namentlich Kohlensäurequellen wirken stark kaolinisierend.

Es ist aber nachgewiesen, daß Kaolin auch durch Einwirkung der Tagewässer, also durch Verwitterung, entstehen kann, nämlich dann, wenn das Wasser durch humusreiche Ablagerungen (Flachmoore) sickert und darin allen mitgebrachten Sauerstoff zu Kohlensäure oxydiert. Derartig entstandene Kaolinlager befinden sich häufig unter Braunkohlenflözen, also fossilen Mooren (89).

Serpentinbildung. Der bereits früher besprochene Serpentin (66) ist meist ein Umwandlungsprodukt aus feldspatfreien Olivingesteinen, die sich durch die Art der Lagerung, durch Beeinflussung des Nachbargesteins ebenfalls als Eruptivmassen erweisen. Olivin besteht aus MgO , FeO , SiO_2 , Serpentin aus MgO , SiO_2 , H_2O mit wechselnden Mengen von Eisen. Der Vorgang besteht also in einer Wasseraufnahme bei gleichzeitiger Wanderung des Eisens. Man sieht unter dem Mikroskop oft noch Reste von Olivin, durchzogen von zahlreichen Sprüngen, an denen entlang die Serpentinbildung erfolgt ist. So entsteht eine „Maschenstruktur“, und Serpentine, wie solche aufweisen, sind nie die Produkte gewöhnlicher Verwitterung (Abb. 77). Die Umwandlung der Olivine in Serpentine ist wohl nur zum Teil eine Folge vulkanischer Zersetzung; in anderen Fällen ist sie als Kontaktmetamorphose zu betrachten.

Zeolithbildung. In Phonolith und Basalt findet man oft Hohlräume, angefüllt mit zierlichen, langen, weißen Nadeln oder Säulchen. Diese Mineralien, die sich aus Nephelin und Leucit gebildet haben, nennt man mit einem Sammelnamen Zeolithe. Es gibt eine ganze Anzahl von Abarten, die aber alle wasserhaltige Silikate von Tonerde nebst verschiedenen Alkalien oder alkalischen Erden darstellen. Wenn man sie mit Salzsäure übergießt, geben sie, ähnlich wie das Wasserglas, die Kieselsäure als Gallert ab. Vor dem Lötrohr schwellen oder „kochen“ sie (gr. *zéo* = koche). Der häufigste Zeolith ist der Natrolith, ein Natriumaluminiumsilikat, das meist in langen Nadelbüscheln auftritt. Wahrscheinlich sind durchaus nicht alle Zeolithe vulkanische Umwandlungsprodukte, sondern vielfach ursprüngliche Mineralbildungen.

So hat also fast jede große Gruppe der Erstarrungsgesteine eine besondere Art nachträglicher vulkanischer Zersetzung. Wie bei dieser Gelegenheit auch Mineralien von hoher technischer Bedeutung gebildet werden, soll das nächste Kapitel erläutern.

Aufgaben: Wie unterscheidet sich vulkanischer Tuff von Wasserabsätzen? Oft bezeichnet man Porphyrtuff fälschlich als Porphyr (z. B. „Roßlitzer Porphyr“); woran erkennt man die Tuffnatur des Gesteins? Welches chemische Bindemittel macht manche Tuffe nachträglich sehr hart? (Vgl. mit Sandsteinen!) Warum sind Kraterberge in ehemals vulkanischen Gebieten verhältnismäßig selten erhalten? Welche früher betrachteten Gebilde zeigen mit den Vulkanen eine gewisse Verwandtschaft? Welches ist der Hauptunterschied zwischen Magma und Lava? Wie läßt sich die erwähnte Bankstruktur an den Steilwänden der Vesuv-somma erklären? Mit welcher Quarz-Abart läßt sich violetter Flußspat verwechseln? Auch Apatit kommt bisweilen blau gefärbt vor; durch welche Kristallform unterscheidet er sich dann von den andern beiden blauen Mineralien? (Griech.

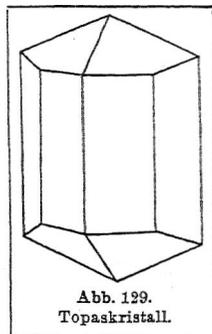


Abb. 129.
Topaskristall.

apatáo heißt: ich täusche — wegen der häufigen Verwechslung.) Wie unterscheidet man Topas von gelbem Bergkristall? Welchen Einfluß auf das Aussehen einer Landschaft würde es haben, wenn Kaolin das gewöhnliche Verwitterungsprodukt aller feldspatigen Gesteine wäre?

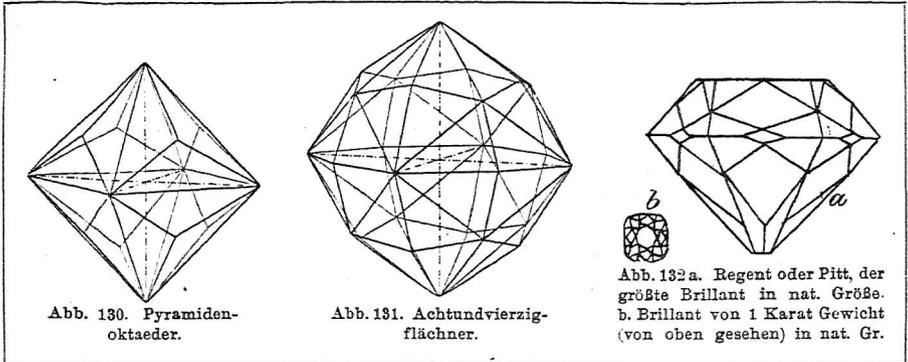
X. Edelsteine und Erze.

Diamant.

107. Chemische und physikalische Eigenschaften. Schon im 17. Jahrhundert wußte man, daß ein Diamant im Brennpunkt eines großen Hohlspiegels restlos verbrennt. Später erhitzte man ihn in reinem Sauerstoff bis zur Rotglut und erhielt schließlich als Verbrennungsprodukt Kohlendioxyd CO_2 . Folglich ist Diamant reiner *Kohlenstoff*. Erhitzt man ihn unter Luftabschluß bis über die Schmelztemperatur des Schmiedeeisens, so verwandelt er sich in eine schwarze Masse, den Graphit. Beide Stoffe sind also chemisch durchaus gleich.

Daß der Diamant als wertvollster Edelstein geschätzt wird, verdankt er seinen *physikalischen* Eigenschaften. Zunächst ist er der *härteste* Stein; er ritzt alle anderen Körper und kann nur mit seinem eigenen Pulver bearbeitet werden. Doch ist er dabei infolge großer Spaltbarkeit so *spröde*, daß er schon durch einen leichten Schlag zertrümmert wird. Seine Kristall- und Spaltflächen haben einen starken, spiegelnden *Glanz*, den man als Diamantglanz besonders unterscheidet. Lichtstrahlen, die den durchsichtigen Stein leicht durchdringen, werden von ihrem Wege nicht nur bedeutend abgelenkt (starke *Lichtbrechung*), sondern dabei in ein Bündel farbiger Strahlen zerlegt (*Farbenzerstreuung*). Der Juwelier nennt das dadurch erzeugte farbige Funkeln „Feuer“. In der Regel ist der Diamant völlig farblos (von „reinstem Wasser“); afrikanische Steine zeigen meist einen „Stich“ ins Gelbliche. Selten tritt schwache Rot-, Blau- oder Grünfärbung auf. Schwarze Diamanten (Carbonados) dienen meist nur als Bohrmaterial. Trübe, rissige, fast bleigraue Diamanten werden als Bort bezeichnet.

108. Natürliche und künstliche Formen. In der Natur finden wir den Diamant kristallisiert als Oktaeder, *Pyramidenoktaeder* (Abb. 130), (d. h. ein Oktaeder, das auf jeder Fläche eine dreiseitige Pyramide sitzen hat), *Acht- und vierzigflächner* (Abb. 131), wobei häufig die Flächen eine eigentümliche *Rundung* besitzen. Da sich alle Formen sehr leicht parallel den Oktaederflächen spalten lassen, so erzeugt der Diamantschleifer in der Regel zunächst durch Meißelschläge ein künstliches Oktaeder. Um aber ein möglichst starkes Funkeln hervorzurufen, werden weitere Flächen mit Hilfe von Diamantpulver angeschliffen, und zwar zunächst oben eine quadratische „Tafel“, unten eine wesentlich kleinere „Kalette“ und ringsum zahlreiche Drei- und Vierecke (Facetten). Die fertige Form, der *Brillant*, wird dann am Rande des Grundoktaeders eingefaßt, so daß er durchsichtig bleibt (à jour). Der

Abb. 130. Pyramiden-
oktaeder.Abb. 131. Achtundvierzig-
flächner.Abb. 132 a. Regent oder Pitt, der
größte Brillant in nat. Größe.
b. Brillant von 1 Karat Gewicht
(von oben gesehen) in nat. Gr.

schönste und größte Brillant der Welt war bis vor kurzem der „Regent“ oder „Pitt“ (Abb. 132 a) im Louvre zu Paris ($136\frac{3}{4}$ Kar.); ein zweiter berühmter der Kohinoor im englischen Staatsschatze. Will man beim Bearbeiten eines Rohsteins nicht zu viel Material verlieren, so schleift man die Facetten an eine halbkuglige Grundform und erhält so die „Rosette“ (die größte Rosette ist der Orlow im russischen Zepter). Der Preis des geschliffenen Steins wird nach dem Gewichte berechnet, und zwar nach *Karaten* (Abb. 132 b) zu je 0,200 g (Kuara ist der Name der Samenkörner einer afrikanischen Pflanze). Ein Karat als Brillant geschliffen kostet gegenwärtig 3—600 Mark. Der größte je gefundene Diamant, der südafrikanische „Cullinan“ hatte die Form eines Gänseeies und wog 3032 Karat; aus ihm hat man zwei große und sieben kleine Brillanten für den englischen Kronschatz hergestellt. Der größte, für das Zepter bestimmte, wiegt 516,5, der zweite 309 Karat. Beim Schlif gingen fast zwei Drittel des Steins verloren, wobei allerdings noch 96 kleine, brauchbare Brillanten gewonnen wurden.

109. Vorkommen und Gewinnung. Diamanten werden vor allem gefunden in Vorderindien (auf dem östlichen Hochlande Dekhan), in Ostbrasilien, Australien (Neusüdwaes, Tasmanien), Südafrika (Gebiet des Vaal und Oranje). In Südafrika fand man die Diamanten zunächst als glänzende Gerölle am Ufer des Oranjeflusses (1867). Später wurden die Kiesbänke und Talhänge am Flusse genau abgesucht, indem man den Schotter in Trögen wusch und durch eingesetzte Siebe dabei die Steine nach der Größe sonderte. Die Diamanten machten sich durch starken Glanz leicht bemerkbar („*Diamantenväsche*“).

Im Jahre 1870 wurden Fundstätten ganz anderer Natur auf den kahlen, wasserlosen Hochflächen südlich des Vaal nachgewiesen. Dort gibt es im Boden flache Senkungen (Pfannen, Pans), bisweilen umgeben von einem sanft ansteigenden Wall (Kopje). Während die Hochflächen meist aus Schiefer bestehen, zeigen die Pfannen oben eine gelbliche, lockere Gesteinsmasse (Gelbgrund), die nach unten in ein festeres, dunkelgrünes (im feuchten Zustande fast blaues) Gestein übergeht. Dieser „*Blaugrund*“ ist ein verkittetes Gemenge

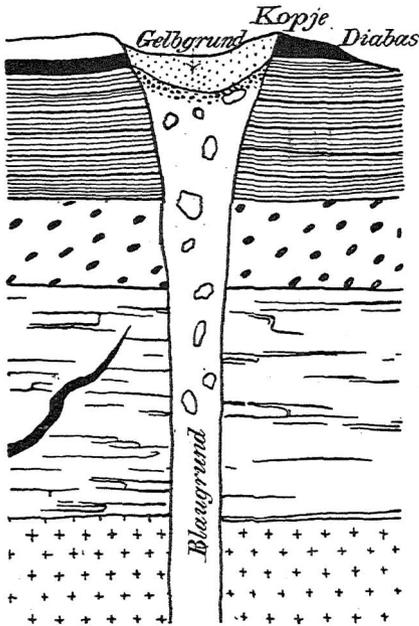


Abb. 133. Profil durch eine südafrikanische Diamantenlagerstätte. Durchgreifende Lagerung des Blaugrundes. (Nach Gürich.)

von Serpentinbrocken und anderen Mineralien und führt zahlreiche Diamanten. Um sie zu gewinnen, bricht man den Blaugrund in mächtigen Gruben, schüttet ihn auf Feldern breit, damit er an der Sonne zerfällt, wäscht ihn in Waschmaschinen und sortiert dann die schweren Rückstände (Tafel II, 1).

110. Entstehung. Es ist klar, daß die Diamanten im Flußsande nicht erst gebildet, sondern ebenso wie Quarze u. a. von einem Orte am Oberlaufe des Flusses dahin gebracht und abgesetzt worden sind; sie befinden sich auf „sekundärer Lagerstätte“. In den Pfannen aber hat man vielleicht die „primären Lagerstätten“ entdeckt. Da der Blaugrund meist senkrecht die Schiefergesteine durchsetzt (Abb. 133), kann er nur vulkanischer Entstehung sein. Man betrachtet ihn als einen vulkanischen Tuff, der bei Gelegenheit von Explosionen entstanden ist und bezeichnet ihn nach

dem bekannten Fundorte Kimberley *Kimberlit*. Den Eruptionsschlot nennt man Pipe. Jedenfalls haben sich die Diamantkristalle aber nicht innerhalb der Pipes gebildet, sondern in größerer Tiefe, in einer Silikatschmelze, die Kohlenstoff gelöst enthielt.

Auf den neuerdings entdeckten Diamantenlagerstätten in *Deutschsüdwestafrika* hat man leider noch keinen Blaugrund entdeckt. (Die weiter landeinwärts gelegenen Pipes sind sämtlich frei von Diamanten.) Die Steine liegen vielmehr lose in flachen, sandigen Mulden, also auf sekundärer Lagerstätte. Nur weil der Wind die leichten Körner fortgeweht, die spezifisch schwereren Diamanten aber liegen gelassen hat, findet man letztere in verhältnismäßig größerer Menge.¹⁾

111. Andere Edelsteine. Alle wertvolleren Edelsteine zeichnen sich durch große Härte, starken Glanz, Feuer oder schöne Farbe aus. Wir merken:

1. *Korund*, chemisch Aluminiumoxyd, Tonerde, Al_2O_3 . Die feinkörnigen, durch Quarz verunreinigten, von Eisen dunkel gefärbten Korundmassen heißen *Schmirgel* (Smirgel). Man findet denselben in abbauwürdigen Mengen auf der Insel Naxos und in Kleinasien und benutzt ihn als Putz oder Schleifmittel in Form von Pulver oder gepreßten Drehscheiben. Die prachtvoll roten („taubenblutfarbigen“) Kristalle, meist sechsseitige Säulen, heißen *Ru-*

1) Von 1908—1911 hat man über 2 Mill. Karat gefunden.

bine; blaue Korunde, wie sechsseitige Fässer (Abb. 134) kristallisierend, nennt man *Saphire*. Beide findet man in Indien (Ceylon, Birma), im Himalaya (Kaschmir) und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika (Tafel II, 3 und 4).

2. *Smaragd*. Er enthält außer Kieselsäure und Tonerde das Oxyd des seltenen Elementes *Beryllium* (3BeO , Al_2O_3 , 6SiO_2). Seine Härte ist nicht viel größer als die des Quarzes; auch Glanz und Feuer sind gering. Aber die herrliche tiefgrüne, durch das Element Chrom hervorgerufene Farbe macht ihn oft wertvoller als Diamanten. Er kristallisiert in sechsseitigen Säulen und wird im Ural und in Colombia gefunden. Blaugrüne Abarten heißen *Aquamarin* (Tafel II, 2).

3. *Granat*. Die chemische Zusammensetzung ist sehr wechselnd, so daß man darnach viele Abarten unterscheidet, z. B.

Kalktongranat: Kalk + Tonerde + Kieselsäure, (3CaO , Al_2O_3 , 2SiO_2)

Magnesiatongranat („böhmische Granate“¹⁾, *Pyropen*):

Magnesia + Tonerde + Kieselsäure, (3MgO , Al_2O_3 , 3SiO_2).

Eisentongranat (*Almandin*): Eisenoxydul + Tonerde + Kieselsäure, (3FeO , Al_2O_3 , 3SiO_2).

Die tief feuerroten, meist kleinen Pyropen dienen zu den beliebten Broschen usw.; die etwas ins Rötlichviolette spielenden Almandine, die oft als große Kristalle in grünen Schiefen sitzen, bilden einen billigen Ersatz für Rubine. Die rotgesprenkelten Zöblitzer Serpentine verdanken ihr buntes Aussehen dem Vorhandensein zahlreicher Pyropen. Als sehr charakteristische Kristallformen treten bei den Granaten der Rautenzwölfflächner (Abb. 135) (Rhombendodekaeder, Granatoeder) und der Vierundzwanzigflächner (Abb. 80) auf (Tafel II, 5).

4. *Spinell*, Magnesiumaluminiumoxyd, MgO , Al_2O_3 . Die kleinen Oktaederkristalle oder Zwillinge (Abb. 310) ähneln in ihrer Farbe sehr dem Rubin und kommen auch mit diesem zusammen in den Edelsteinseifen von Ceylon und Birma vor.

5. *Zirkon*, eine Verbindung von Zirkonerde mit Kieselerde, ZrO_2 , SiO_2 . Die meisten Steine sind trübe und rissig; nur die kleineren Kristalle sind dauerhaft und stark glänzend. Ihre Form ist eine quadratische Säule mit Pyramide (Abb. 146). Die Farbe wechselt vom hellen Gelb bis zum rötlichen Braun. Rote Abarten heißen *Hyazinthe* (Tafel II, 7).

6. *Türkis*. Dieses Mineral, das hauptsächlich aus wasserhaltiger phosphorsaurer Tonerde zusammengesetzt ist, kommt nie in Kristallen vor, sondern bildet auf Klüften einen grünen oder hellblauen, porzellan-

1) Gewonnen am Südabhang des Böhm. Mittelgebirges, geschliffen in Turnau an der Iser. Die wertvollsten Pyropen sind die südafrikanischen „Kaprubine“.



Abb. 134.
Fäßförmiger
Kristall vom
Saphir.

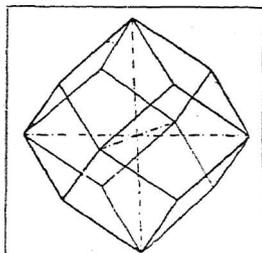


Abb. 135. Rhombendodekaeder oder Granatoeder.

ähnlichen Überzug. Die schönsten blauen Türkise kommen aus dem nordpersischen Randgebirge zu uns und werden meist rundlich angeschliffen.

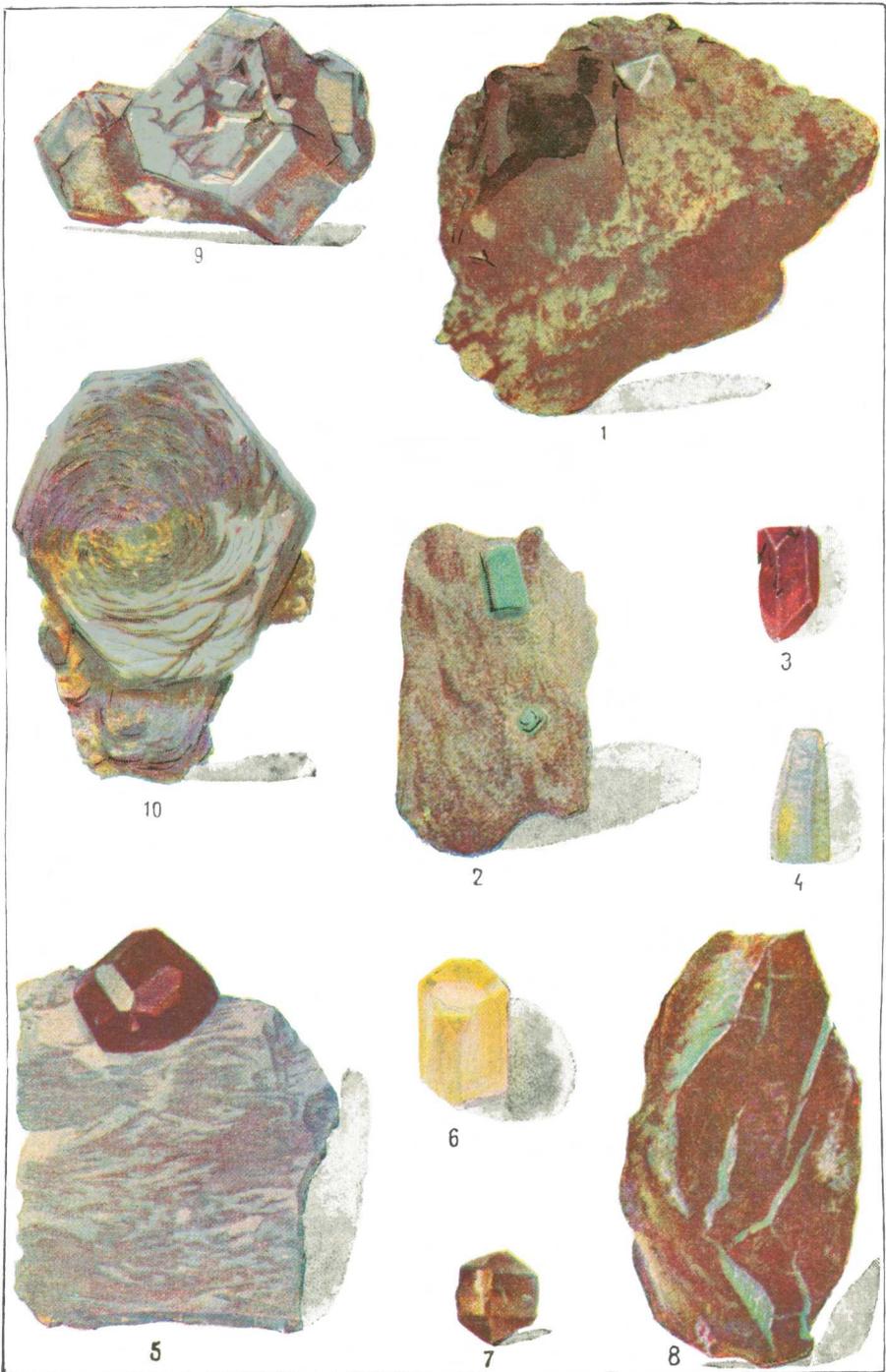
7. *Lasurstein, Lapis lazuli* ist kein einfaches Mineral, sondern ein Gemenge von einem blauen Bestandteil mit anderen Stoffen. Es enthält vor allem Al_2O_3 , Na_2O , SiO_2 und Schwefel. Die grauen Körner innerhalb der blauen Masse bestehen aus Kalk; die goldglänzenden Punkte sind Eisenkies. Jedenfalls ist Lasurstein durch Einwirkung von Schwefel- und Wasserdämpfen auf natron- und tonerdehaltige Kalkmassen hervorgegangen. Aus ihnen stellte man früher eine wertvolle blaue Farbe, das Ultramarin, her. Jetzt gewinnt man den Farbstoff billiger auf künstlichem Wege. Die zu Schmuckstücken verwendeten Stücke stammen meist aus Afghanistan und der Gegend des Baikalsees.

Aufgaben: Berichte über die in den Schaufenstern der Juweliere ausgestellten Edelsteine und ihre Schliffformen. Wie kann man nachgeahmte Diamanten, z. B. Simili, Straß (weiches, bleihaltiges Glas) von echten unterscheiden? (Auch das Anhauchen ist ein gutes Erkennungsmittel: Glas behält den Hauch länger als Diamanten.) Wie sucht man bei Similisteinen das mangelnde Feuer zu ersetzen? Wie sind falsche Steine gefaßt? Wie kann man Türkise nachahmen? Was beweist das Vorkommen von Diamanten in Form abgerollter Stücke im Flußkies? Durch welches billigere Material könnte man Rubine ersetzen? Welcher Halbedelstein könnte mit den gelblichen Kapdiamanten verwechselt werden?

Gold.

112. *Eigenschaften.* Gold (Aurum, Au) ist der König der Metalle. Im Feuer schmilzt es bei 1035° , es bildet aber dabei ebensowenig mit Sauerstoff eine beständige Verbindung wie beim Liegen an der Luft (*Edelmetall*). Es ist so *dehnbar*, daß man aus 1 g Gold einen Draht von 2500 m Länge erhält, und läßt sich so dünn ausschlagen, daß 10000 Blättchen feinsten Blattgoldes erst 1 mm Dicke besitzen. Da es wegen seiner geringen, zwischen Gips und Kalkspat liegenden Härte sich leicht abnutzt, wird es zum Gebrauche mit dem zäheren Kupfer oder Silber gemischt (*legiert*); z. B. enthält Münzgold 900 Teile + 100 T. Kupfer; Schmucksachen sind meist 0,585 oder 0,333 „fein“.

113. *Art des Vorkommens:* Gold kommt fast nur chemisch rein oder „*gediegen*“ vor (Tafel III, 1). Es ist in Eruptivgesteinen überaus häufig, aber so fein verteilt, daß seine Gewinnung daraus erst lohnt, wenn das Gestein bereits stark verwittert ist (z. B. bei Lydenburg in Transvaal). Schon mehr zusammengehäuft zeigt es sich, wenn Eruptivgesteine von Spalten durchzogen sind, in deren Ausfüllungsmassen, namentlich in den *Goldquarzgängen*. (z. B. Ungarn, Südafrika, Kalifornien). Es bildet dann kleine Oktaeder, öfter aber Blättchen, Bäumchen, zum Beweis, daß es sich dort an Ort und Stelle ausgeschieden hat (*primäre Lagerstätte*). In Westaustralien gibt es sehr schmale Goldquarzgänge, in deren Nachbarschaft auch das eigentliche Massengestein in einer Breite von 20 m mit feinverteiltem Gold durchsetzt oder *im-*



Edelsteine und Erze.

1. Diamant im Blaugrund, Kimberley. 2. Smaragd in Glimmerschiefer, Salzburg. 3. Rubin, langgestrecktes Prisma, New-Jersey. 4. Saphir, steile Pyramide, Ceylon. 5. Almandin in Glimmerschiefer, Alaska. 6. Topas, Schneckenstein im Vogtland. 7. Zirkon, Nord-Carolina. 8. Edelopal in Brauneisenstein, Queensland. 9. Bleiglanz, Gonderbach. 10. Eisenrose, St. Gotthard.

prägniert ist (vgl. Abb. 149). In den großen Goldländern gibt es ferner Schichtgesteine, die aus zusammengebackenen Geröllen bestehen (Konglomerate) (13). Dort sitzt das Gold in dem *Bindemittel*, und zwar in Form von Flitterchen, die ebenfalls noch Neigung zur Kristallbildung zeigen, so daß man sie als einen chemischen Niederschlag ansehen kann. Werden die goldhaltigen Felsen oder die Konglomerate zerstört und die Trümmer von Flüssen fortgeführt, so gerät das Gold ebenfalls in den Flußsand, sammelt sich als schwerer Körper¹⁾ hinter Felsbarren und bildet dort Körnchen und Klumpen („nuggets“) bis zu Zentnerschwere. Hierher ist das Gold erst nachträglich transportiert, befindet sich also auf *sekundärer Lagerstätte*, in einer „Goldseife“. Der Flußsand reichert sich an Gold bisweilen so stark an, daß man es z. B. auch in vielen deutschen Flüssen nachweisen und gewinnen kann. Im Rheinsande der Strecke Basel—Mannheim liegt nach einer Berechnung Gold im Werte von 136 Millionen Mark. In der Gölitzsch i. V. fand man noch vor 50 Jahren in einem Zentner Flußsand 0,0004 g „Seifengold“. Nicht unbeträchtliche Mengen von Gold sind als zufällige Beimischungen in manchen sonst wertlosen Mineralien enthalten, z. B. in dem goldgelben Eisenkies und im Arsenkies (128).

114. Fundorte. In Europa liefert nur der Innenrand der Karpathen nennenswerte Mengen. In Kalifornien fand ein schweizerischer Einwanderer beim Anlegen eines Mühlgrabens Seifengold im Sakramento; dann suchte man es in den alten Schottern früherer Flüsse, schließlich in den Goldquarzgängen der Sierra Nevada. Mehr als 50 Milliarden Mark an Goldeswert hat dieses eine Land bis jetzt geliefert. Andere wichtige amerikanische Fundorte sind Klondike, Mexiko, Guayana, Brasilien, Bolivien. Südafrika besitzt die großartigen Lagerstätten am Witwatersrand (Johannesburg). In Asien lieferten die sibirischen Randgebirge und das Uralgebirge bedeutende Mengen. Australien hat altbekannte Fundorte im östlichen Randgebirge, dazu die neuentdeckten Goldgänge am Westrand der großen Wüste. Im den Jahren 1910 und 1911 verteilte sich die *Goldproduktion* der Hauptländer in folgender Weise:

	1910	1911
Afrika	263602 kg	288201 kg
Vereinigte Staaten v. N.-A. . .	144853 „	145787 „
Australien	98511 „	90557 „
Rußland	53535 „	48377 „
Mexiko	37482 „	37436 „
Kanada	15356 „	14689 „
Weltproduktion	684176 „	695340 „
Wert	1910 Mill. M.	1940 Mill. M.

Das Gold ist der wichtigste Wertmesser; 1 kg wird mit 2784 Mark bezahlt.

1) Doch spielt hierbei vielleicht auch chemischer Niederschlag eine Rolle. In der Nähe der australischen Küste hat man in 1 cbm Meerwasser 0,03—0,06 g gelöstes Gold nachgewiesen. Im gesamten Meerwasser ist soviel Gold gelöst, daß auf jeden Erdenbewohner für 3 1/2 Mill. Mk. kämen!

115. Art der Gewinnung. Am einfachsten ist die Gewinnung aus dem Flußsande, den „*Goldseifen*“. Der Schotter wird gesiebt, geschlämmt, wobei größere Körner in den Sieben zurückgehalten werden, der feinere „*Schliech*“ hinter den Leisten der geschaukelten oder gerüttelten Waschgefäße liegen bleibt („*Waschgold*“). Die feinsten Stäubchen, die sich nicht mehr mechanisch trennen lassen, werden durch Hinzufügen von Quecksilber gewonnen. Dieses Metall bildet mit Gold ein „*Amalgam*“, das man in Beuteln abpreßt und durch Hitze wieder in seine Bestandteile trennt.

Feste Konglomeratwände bringt man zum Einstürzen, indem man sie durch kräftige Wasserstrahlen unterwäscht; dann kann man die Trümmer wie Flußschotter behandeln. Der Goldquarz („*Berggold*“) muß erst in Pochwerken oder unter Mühlsteinen (Kollergängen) zerkleinert werden.

Silber.

116. Silbererze. Wie Gold kommt auch Silber (Argentum, Ag) gediegen vor, zwar seltener, aber in größeren Stücken, bald auskristallisiert (Oktaeder), bald in Draht- und Baumform (Tafel III, 2) oder in Klumpen. Bei Schneeberg i. Erzg. fand man einen Klumpen von 100 Zentnern Schwere. Tritt ein Schwermetall nicht rein, sondern in einer chemischen Verbindung auf, und zwar reichlich genug für die technische Gewinnung, so nennt man eine solche Verbindung ein *Erz*. Die *wichtigsten Silbererze* sind:

1. *Goldsilber*. Die Mischung der beiden Edelmetalle ist ziemlich häufig und wurde von den Alten *Elektrum* genannt.

2. *Silberglanz*, *Schwefelsilber*, *Silbersulfid*, Ag_2S . Er ahmt die Formen des gediegenen Silbers nach, ist aber schwärzlich bleigrau und läßt sich mit dem Messer sehr leicht schneiden. Seine Schnittflächen sind glänzend. Da er biegsam und hämmerbar ist wie reines Metall, ließ der sächsische Kurfürst August der Starke Denkmünzen daraus prägen (Tafel III, 4).

3. *Dunkles Rotguldigerz*¹⁾, *Antimonsilberblende*, enthält außer Schwefel noch das spröde Antimon (Stibium, Sb) und hat die Formel $3\text{Ag}_2\text{S}, \text{Sb}_2\text{S}_3$. Ein wenig Pulver auf Holzkohle erhitzt, gibt weißen Rauch und Beschlag von Antimon. Die prächtig dunkelroten, stark glänzenden Kristalle sind den Formen des Kalkspates ähnlich. Bisweilen ist das Erz fast schwarz und metallisch; dann zeigt es aber wenigstens einen kirschroten „Strich“, wenn man es auf einer unglasierten Porzellanplatte reibt. An den Rändern lassen gute Kristalle ein wenig Licht durchscheinen.

4. *Lichtes Rotguldigerz*, *Arsensilberblende*, $3\text{Ag}_2\text{S}, \text{As}_2\text{S}_3$. Beim Erhitzen auf Holzkohle erhält man den knoblauchartigen Geruch reinen Arsens. Das Erz ist etwas lichter (karminrot) als das vorige und deshalb durchscheinender (Tafel III, 3).

5. *Hornsilber*, *Chlorsilber*, *Silberchlorid*, AgCl , nach seiner chemischen Zu-

1) Das Wort hängt zusammen mit Gulden, Gülden, güldisch, nicht mit gelten. Die immer wieder auftauchende Schreibweise „gültig“ ist also falsch!

sammensetzung verwandt mit dem Kochsalz, aber völlig unlöslich. Es ist meist horn- oder wachsähnlich, läßt sich wie Speck schneiden, schmilzt schon in der Kerzenflamme und wird dabei zu reinem Silber reduziert.

6. *Fahlerz*, eine Verbindung der verschiedensten Schwermetalle (Silber, Kupfer, Eisen) mit Schwefel, Arsen, Antimon. Seine Kristalle zeigen oft die charakteristische Form des Vierflächners oder Tetraeders (mit vier gleichseitigen Dreiecken) (Abb. 136). Es ist stahlgrau und ziemlich stark glänzend (Tafel III, 7).

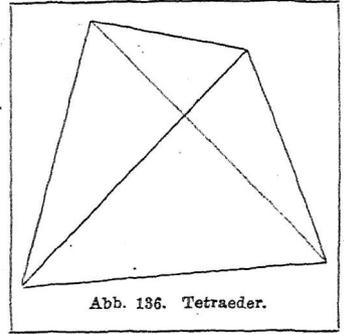


Abb. 136. Tetraeder.

117. Silberhaltige Erze. Außer den eigentlichen Silberverbindungen gibt es noch zahlreiche andere Erze, die Silber nur als fremde Beimengung enthalten, aber daraufhin verarbeitet werden, z. B.:

1. *Bleiglanz*, *Schwefelblei*, *Bleisulfid*, PbS , mit 86% Blei das reichste Bleierz, dessen Wert durch 0,01—1% Silber wesentlich erhöht wird. Er ist blaugrau, stark glänzend, schreibt wie Bleistift (Graphit 55). Die Kristalle sind Würfel, Oktaeder oder Kombinationen davon. Häufiger noch sind treppenförmige Stücke, die durch die große Spaltbarkeit nach den Würfel- flächen (vgl. Steinsalz) entstehen (Abb. 137). In großer Menge wird er gewonnen im Harz, Taunus, Erzgebirge und in den Vereinigten Staaten. (Tafel II, 9.)

2. *Zinkblende*, *Schwefelzink*, *Zinksulfid*, ZnS , mit bis 0,9% Silber. Die gewöhnliche Zinkblende ist schwarz und undurchsichtig; seltener kommen braune bis kolophonumähnliche Stücke mit starkem „Diamantglanz“ vor. Da die Zinkblende in Oktaedern kristallisieren kann (auch in Formen wie Abb. 310 u. 311), sind bisweilen Verwechslungen mit Bleiglanz möglich; dann entscheidet der gelbe bis braune Strich. Durch Spaltung kann man aus Zinkblende- kristallen Rautenzwölfächner herstellen.

118. Silbererzlagerstätten. In welcher Weise Silbererze im Felsgestein auftreten, sei am altberühmten *erzgebirgischen* Gebiete erläutert. Dort findet man in der Hauptsache grauen Gneis, Granit und Tonschiefer. Namentlich die schieferigen Gesteine sind vielfach zerrissen und von Spalten durchzogen. Werden diese Risse von Mineralien wieder ausgeheilt, so nennt der Bergmann die Ausfüllungsmassen *Gänge* und *Trümer* (Einzahl Trum) (Abb. 138).



Abb. 137. Bleiglanzspaltungsstücke in einer Kalkspatbreccie. Freiberg (Orig. Dresd. Heimatk. Schulmuseum).

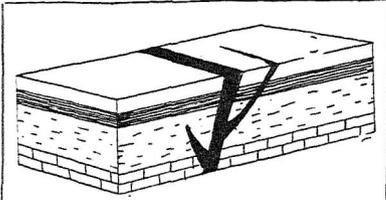


Abb. 138. Modell eines Ganges mit zwei Trümmern. Von der Seite baumförmig, auf der Oberfläche als Streifen erscheinend, in Wirklichkeit ein platter Gesteinskörper.

Die Ausfüllungsmasse gibt uns Aufschluß über die Art ihrer Entstehung. An beiden Wänden der Spalte haben sich die Mineralien niedergeschlagen in Schichten, die sich schließlich in der Mitte in einer „Zuwachsnaht“ trafen (Abb. 139). Es kann sich hier wohl nur um einen *chemischen Niederschlag aus einer Lösung* handeln, und zwar um *heiße* Wässer, die im Gefolge vulkanischer Erscheinungen aus großer Tiefe heraufdrangen. Änderte sich während des Ausfüllungsvorganges der Gehalt der Lösung, so setzten sich symmetrisch verschiedene Minerallagen ab, so daß ein solcher Gang im Querschnitt bandförmig gestreift erscheint. Außer den eigentlichen wertvollen „*Erzmitteln*“ schied sich aber auch viel wertlose „*Gangart*“, d. s. unbrauchbare, metallfreie Mineralien, ab.

Die *wichtigsten Gangarten* sind: 1. Quarz (40), 2. Kalkspat (38), 3. Flußspat (116), 4. Schwerspat.

Schwerspat, Baryt (gr. *barys* = schwer) *schwefelsaures Baryum*, Baryumsulfat, $BaSO_4$. Die Kristalle sind entweder Platten mit rhombischer Oberfläche (Abb. 140) oder rhombische Säulen (Abb. 141). Öfter kommen kamm- oder schuppenförmige Gruppen oder derbe, weiße bis rötliche Massen vor. Das beste Kennzeichen ist das hohe Gewicht, das doppelt so groß ist als die gleichgroße Menge Gips und 4,6 mal so groß als Wasser. Schwerspat

besitzt eine überaus geringe Löslichkeit; in 1 l Wasser von 15° lösen sich nur 3 mg. Auf schwerspathaltigen Erzgängen tritt vielfach auch der *Strontianit* ($SrCO_3$) (39) auf, so z. B. bei Freiberg i. Erzg. und bei Claustal am Harz.

119. Art der Gewinnung. Die Zeiten, da man das Silber unter Baumwurzeln fand und mühelos nur das „Ausgehende“, d. h. den obersten leicht erreichbaren Teil der Gänge abbaut, sind längst vorüber. Jetzt muß man das Erz in großer Tiefe aufsuchen. Zu diesem Zwecke legt man senkrechte oder steilschräge Einfahrtsschächte an, gliedert an diese wagerechte „Strecken“ mit rechtwinklig abzweigenden „Querschlägen“. Das in die geschaffenen Hohlräume dringende „Grubenwasser“ wird in schwach geneigte „Stollen“ gepumpt und durch diese nach einem



Abb. 139. Gangstück aus der edlen Bleiformation, Freiberg. (Bleiglanz, Kupferkies, Manganspat. (Orig. Dresd. Mus.)

Flußtal abgeleitet. Der Bergmann oder „Häuer“ gewinnt das Erz „vor Ort“ durch Bohren, Sprengen und mittels Schlegel und Eisen. Die Bruchstücke werden in „Hunden“ nach dem „Fördergestell“ gefahren und in diesem meist ohne Umladen durch den „Förderschacht“ ans Tageslicht gebracht. Dort scheidet man das „taube Gestein“ aus und bringt es auf „Halden“. Das Erz aber wird gepocht, gewaschen und „verhüttet“.

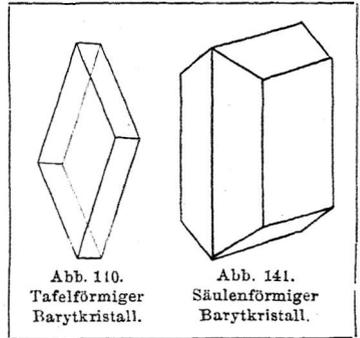
Der Wert des Silbers ist bedeutend zurückgegangen (1 kg im 16. Jahrh. 260 Mark, heute 78 Mark), seit man in der neuen Welt Lagerstätten entdeckt hat, die unsere seit alter Zeit abgebauten Bergbaugebiete (Mansfeld, Erzgebirge, Oberharz) völlig in den Schatten stellen. Im Jahre 1785 bestimmte ein französisches Gesetz, daß für 1 kg Gold 15,5 kg Silber zu zahlen seien; heute (1917) muß man mehr als 35 kg geben.

Die Silberproduktion der letzten Jahre verteilt sich auf die Hauptländer wie folgt:

	1909	1910	1911
Mexiko	2299,9 t	2219,9 t	2458,2 t
Verein. Staaten v. N. A. .	1702,0 „	1777,2 „	1878,7 „
Kanada	856,2 „	1022,4 „	1018,4 „
Australien	508,8 „	670,2 „	515,7 „
Peru	297,5 „	206,1 „	206,1 „
Bolivien, Chile	172,6 „	201,9 „	139,4 „
Deutschland	165,9 „	174,1 „	155,0 „
Japan	128,9 „	144,5 „	137,3 „
Spanien	148,3 „	129,2 „	129,2 „
Österreich-Ungarn	31,1 „	47,9 „	47,9 „
Weltproduktion	6598,7 „	6896,0 „	7008,9 „

Kupfer.

120. Kupfererze. *Gediegenes Kupfer* ist in weit größeren Massen auf der Erde vorhanden als die übrigen Metalle. Es war deshalb schon den Menschen der Urzeit bekannt und wertvoll. In den äußeren Teilen von Erzgängen tritt es teils in formlosen Klumpen, teils blechähnlich, baumförmig verzweigt oder in gut ausgebildeten Kristallen, z. B. Oktaedern auf (Abb. 142, 143). Durch Verwitterung und Transport gelangt es in die Flußsande. In Amerika findet man bisweilen gewaltige Kupfermassen, vor allem am Südufer des Oberen Sees, wo Stücke bis zu 15000 Zentner Schwere vorgekommen sind. Die Eigenfarbe des Kupfers ist ein helles Gelbrot; das uns mehr vertraute Braunrot ist bereits die Folge einer beginnenden Oxydation, einer Bildung von Kupferoxydul, Cu_2O .



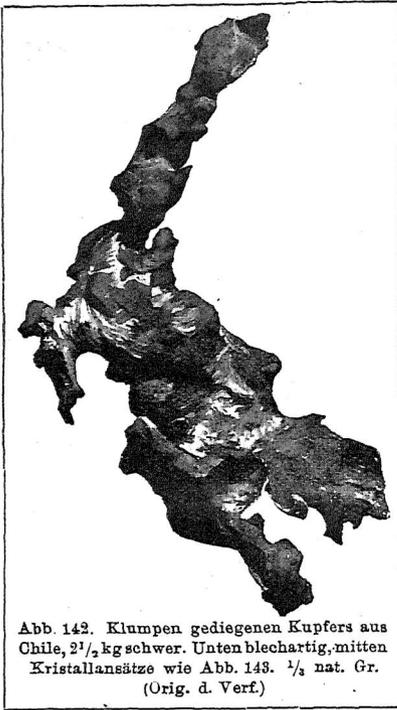


Abb. 142. Klumpen gediegenen Kupfers aus Chile, $2\frac{1}{2}$ kg schwer. Unten blechartig, mitten Kristallansätze wie Abb. 143. $\frac{1}{4}$ nat. Gr. (Orig. d. Verf.)

Das meiste Kupfer wird indes aus Erzen gewonnen, deren wichtigste wir zunächst unterscheiden wollen:

1. *Rotkupfererz*, Kupferoxydul Cu_2O . Die cochenillerothen Kristalle (Oktaeder und verwandte Formen) gehen zuweilen ins Bleigraue über.

2. *Kupferglanz*, Kupfersulfid, Cu_2S , meist in derben, körnigen Massen, fast schwarz und matt metallisch. Es ist dasselbe Produkt, das man durch einfache Synthese, durch Einbringen von Kupferspänen in Schwefeldampf erhalten kann.

3. *Kupferkies*, Kupfersulfid mit einem Eisensulfid $\text{Cu}_2\text{S}, \text{Fe}_2\text{S}_3$. Aus diesem überaus häufig vorkommenden Erze wird das meiste Kupfer hergestellt. Es ist messinggelb und wird deshalb oft mit dem Schwefelkies verwechselt; aber seine Farbe hat stets einen Stich ins Grünliche, und infolge seiner geringeren Härte gibt es nicht wie Eisenkies am Stahle Funken. Die Kristalle, am häufigsten Doppelkeile des tetragonalen

Kristallsystems (Abb. 144), von vier gleichschenkligen Dreiecken begrenzt, bilden mehr zusammengesetzte Gruppen als der Schwefelkies.

4. *Buntkupferkies*, dem vorigen ähnlich zusammengesetzt, $3\text{Cu}_2\text{S}, \text{Fe}_2\text{S}_3$, meist in derben Massen, auf frischem Bruche rotbraun, äußerlich bunt angelaufen.

5. *Kupferlasur*, Kupferkarbonat mit Kupferhydroxyd, $2\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$. Die prächtig tiefblauen Kristalle bilden dichte Gruppen. Noch häufiger ist der ganz ähnlich zusammengesetzte

6. *Malachit*, $\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$, der im Uralgebirge in Blöcken von 5 m Länge gefunden worden ist. Kristallisiert ist er selten; dagegen bildet er oft nierenförmige Massen, die im Innern konzentrischschalig zusammengesetzt sind und deshalb in geschliffenen Tafeln prächtige dunkelgrüne Zeichnungen

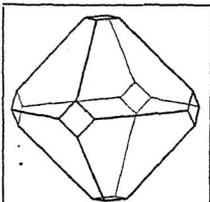


Abb. 143. Oktaeder mit abgestumpften Ecken.

(Abb. 145) geben. Der ganze Aufbau erinnert an den Achat; doch ist hier das Wachstum der Schalen von innen nach außen erfolgt. Die geringe Härte, die noch unter der des Flußspates steht, erleichtert die Bearbeitung. Durch Einwirkung von kohlensäurehaltigem Regenwasser auf kupferne Dächer, Bronzestatuen (Kupfer + Zinn) bildet sich allmählich ein grüner Überzug, der „edle Rost“ oder die „Patina“, die also ebenfalls Malachit darstellt.

An den Kupfererzen beobachtet man recht häufig die Erscheinung, daß sich ein Erz durch chemische Umsetzungen in ein anderes umwandelt. So oxydiert sich Kupfer zu Rotkupfer, oder es geht in Malachit über. Kupferlasur verwandelt sich ebenfalls in Malachit. War die ursprüngliche Substanz kristallisiert, so setzen sich bisweilen die einzelnen Moleküle um, ohne daß sich die äußere Form ändert. So behält Malachit, wenn er aus Kupfer hervorgeht, die ihm eigentlich ganz fremde Oktaederform. Man nennt dieses Vorkommen von Mineralien in gewissermaßen erborgten Kristallformen *Pseudomorphosen* (gr. pseudēs = falsch, erlogen, morphē = Gestalt) und sagt z. B.: Malachit bildet Pseudomorphosen nach Rotkupfer (Tafel III, 6).

121. Art des Vorkommens. Das Kupfer und seine Erze kommen bisweilen in alten Massengesteinen in Form von *Gängen* vor, so z. B. die großartigen Gänge am Oberen See und ähnliche, aber viel unbedeutendere Bildungen in Schlesien. Eine besondere Eigenart des Kupfers bildet aber das Auftreten in Form von *Lagern*, d. h. in geschichteten Massen. Hierher gehören in Deutschland zwei altberühmte Bergbaugebiete. Zuerst das „*Kieslager*“ am *Rammelsberg* bei Goslar, das bereits seit 968 abgebaut wird. In einer stark gefalteten und völlig überkippt liegenden Folge von alten Schiefergesteinen ist ein Erzlager von 15—30 m Mächtigkeit eingeschaltet. Es enthält derbe Massen von Kupferkies, Schwefelkies, Bleiglanz u. a. Ebenso ehrwürdig ist der Abbau im *Kupferschiefer von Mansfeld*, der im Jahre 1200 begonnen wurde und noch im Jahre 1908 für 21,6 Millionen Mark Erz lieferte. Der Kupferschiefer ist ein bitumenhaltiger, schwärzlicher Mergelschiefer von nur 50—60 cm Mächtigkeit. Der Kupfergehalt (2—3% Kupfer und $\frac{1}{2}$ kg Silber auf 100 kg Kupfer) ist in Form feinsten *Stäubchen im Gestein verteilt*, so daß dasselbe im Sonnenlicht einen metallischen Schimmer erhält. Die zahlreichen im Kupferschiefer liegenden Fischreste (Abb. 197) sind oft gänzlich in Erz umgewandelt, so daß die wohl erhaltenen Schuppen wie Bronze glänzen. Sowohl im Harz als bei Mansfeld dürfte der Kupfergehalt nicht schon gleichzeitig mit dem Sediment gebildet, sondern erst nachträglich, durch „*Imprägnation*“ hineingekommen sein.

Außer den genannten Vorkommnissen sind für den Weltmarkt noch wichtig die großartigen Kupferbergwerke in Südspanien

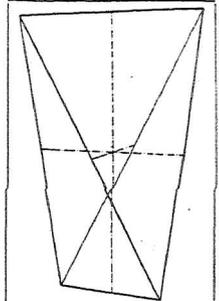


Abb. 144. Tetragonaler Doppelkeil. (Beim Kupferkies ist derselbe kürzer und deshalb Abb. 136 sehr ähnlich.)



Abb. 145. Malachit aus Jekateriuburg, angeschliffen. (Orig. Dresd. Hochsch.)

(Huelva), Montana (Vereinigte Staaten), Mexiko, Kanada, Chile, Bolivia und Japan. Die Weltproduktion an Kupfer betrug im Jahre 1907 703 000 t, 1912 1 096 400 t, der Preis der Tonne war vor Ausbruch des Weltkrieges etwa 1500 Mark.

Zinn.

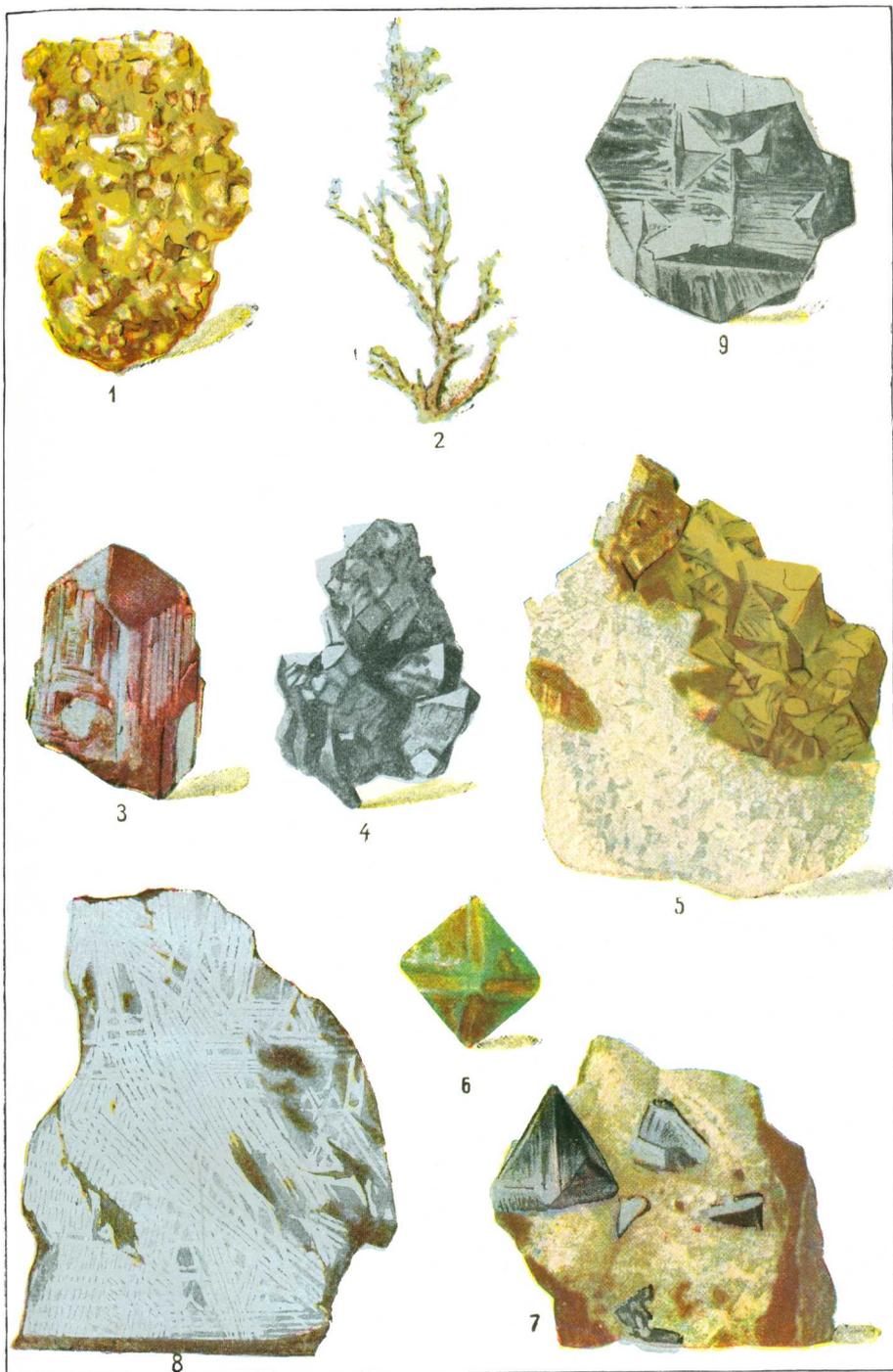
122. **Eigenschaften und Fundorte.** Das Zinn (Stannum, Sn) gehört wegen seiner leichten Gewinnungsweise und seiner vielfachen Verwendbarkeit ebenfalls zu den am längsten bekannten Metallen. Es ist silberweiß, weich wie Blei und schmilzt schon bei 228°. An der Luft ist es äußerst haltbar. Daher diente es unseren Vorfahren als wichtiges Material für Schüsseln, Teller, Löffel, Krüge, Leuchter usw., während man es heute mehr als Überzug auf Eisen (Weißblech) oder als dünn gewalztes „Stanniol“ verwertet.

Bis in die Urzeit des Menschen reicht die Gewinnung von Zinnerzen. Die Ureinwohner Deutschlands kannten die *Bronze* (Kupfer + Zinn), und zahlreiche Halden, z. B. im Erzgebirge, weisen darauf hin, daß sie das Zinn wenigstens zum Teil selbst gesucht haben. Die Phönizier besuchten die Zinninseln oder Kassiteriden (jedenfalls Cornwall und die benachbarten Inseln). Jetzt kommt das meiste Zinn aus Banka, Billiton (nahe bei Sumatra) und Malakka.

Das einzige wichtige Zinnerz ist der *Zinnstein*, *Zinnoxid*, SnO_2 . Er bildet oft stark glänzende, fast schwarze Körner oder Kristalle. Die einfachste Kristallform ist eine Säule mit quadratischem Durchschnitt und aufgesetzter Pyramide (Abb. 146, 147). Bisweilen sind die Kanten durch schmale Flächen ersetzt. Sehr häufig wachsen zwei Kristalle im schiefen Winkel zu Zwillingen aneinander. Wegen des charakteristischen einspringenden Winkels (Abb. 148) und der Ähnlichkeit mit einem aufgeklappten Ritterhelm nennt der sächsische Bergmann diese Formen *Visiergrauen*. Von der Zinkblende unterscheidet sich der Zinnstein leicht dadurch, daß er einen lichtgelblichen Strich gibt.

123. **Art des Vorkommens.** Bei dem Städtchen Geyer i. Erzg. liegen mitten im Glimmerschiefer drei kleine Granitberge, der Greifenstein, Zinnberg und Geyersberg. In diesem Granit sind zahlreiche, bis 5 cm mächtige Gänge, ausgefüllt mit Quarz, Zinnstein, Topas, Flußspat u. a. Aber nicht nur die Gänge selbst enthalten Zinn, sondern jeder ist von einem etwa 10 cm breiten Granitstreifen umsäumt, der durch ganz feine Zinnsteinkörnchen dunkel gefärbt ist. Man nennt solche Streifen *Zwitterbänder* (Abb. 149) und eine Felsmasse mit sehr vielen „verzwitterten“ Gängen einen *Zwitterstock*. Um das Zinnerz auch aus dem Zwitter zu gewinnen, mußte man große Höhlungen aushauen. Diese wurden die Ursache, daß am Geyersberg 1803 ein gewaltiger Einsturz die Baue zerstörte und die große „*Binge*“ entstand.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei Altenberg-Zinnwald. Hier steckt ein Granitstock im Porphyry und ist ebenfalls in seinem oberen Teil von



Erze.

1. Gold als Bindemittel zwischen Quarzkörnern, Mexiko. 2. Silber, ästig, Kongsberg in Norwegen. 3. Leichtes Rotguldigerz, Joachimsthal in Böhmen. 4. Silberglanz, Freiberg. 5. Kupferkies mit Eisenspat und Quarz, Neudorf im Harz. 6. Rotkupfer in Malachit umgewandelt, Chessy bei Lyon. 7. Fahlerz, Clausthal im Harz. 8. Meteoreisen mit Widmannstättenschen Figuren, Texas. 9. Schwefelkies, Durchkreuzungszwilling, Elba.

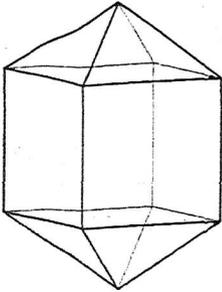


Abb. 146. Quadratische Säule mit aufgesetzten Pyramiden.

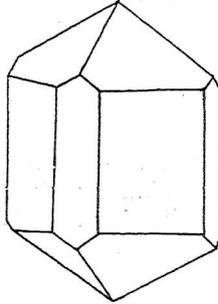


Abb. 147. Vorige Form mit abgestumpften Kanten

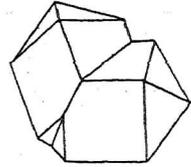


Abb. 148. Visiergrauen, Zinnkristalle, wie Abb. 146, aber verzwilligt.

Gängen dicht durchschwärmt. Diese sind meist nur messerrückenbreit und mit Quarz und Topas ausgefüllt, also weißlich. Das Zinnerz lagert in kaum wahrnehmbaren Körnchen (0,1–0,001 mm) in den dunkeln Zwitterbändern. Auch der Altenberger Zwitterstock ist mit seinen Höhlungen 1624 zusammengebrochen und in eine Binge verwandelt worden.¹⁾

Durch die Verwitterung zinnhaltiger Granite kommt der Zinnstein in

den Flußsand. Solche Sand- und Geröllmassen (*Zinnseifen*) sind häufig am Auersberg, bei Johanngeorgenstadt, Geyer, Annaberg, und im Müglitztal.

124. Entstehung. Da der Granit im glühendflüssigen Zustande aus den Tiefen der Erde heraufgedrungen ist und die Spalten sich jedenfalls noch während seiner Erkalting gebildet haben, ist es wahrscheinlich, daß als Abschluß des vulkanischen Vorganges Wasserdampf emporgestiegen ist, beladen mit allerhand Gasen, aus denen sich der Zinnstein, ebenso der Flußspat und Topas gebildet haben. Die Dämpfe haben auch das Neben-

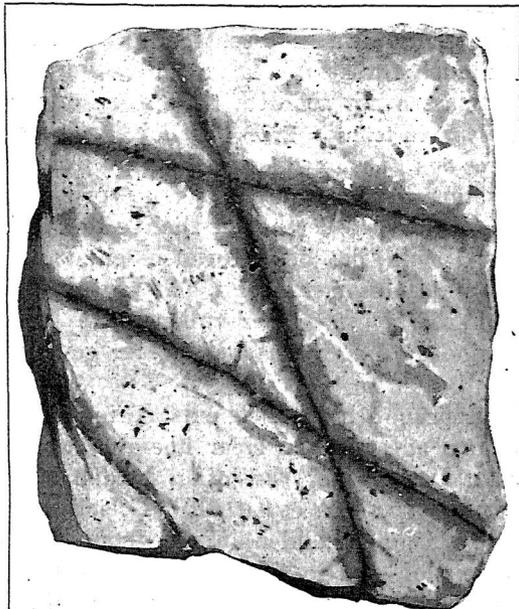


Abb. 149. Zinnzwitter von Altenberg im Erzgebirge. Granit mit messerrückenbreiten Spalten, die durch ein Gemenge von Zinnerz, Quarz und Topas ausgefüllt sind. Der Granit in der Nachbarschaft der Spalten ist mit Zinnerz „imprägniert“. (Orig. Dresd. Mus.)

1) Gegenwärtig werden diese Gebiete fast ausschließlich auf *Wolfzinnerz* abgebaut, da das harte, zähe Wolframmetall als Zusatz zu Stahl sehr gesucht ist.

gestein chemisch angegriffen und dort Mineralneubildungen veranlaßt. So entstanden jene Zwitterbänder oder *Imprägnationszonen*. Beim Absterben der vulkanischen Tätigkeit kamen vielleicht an Stelle des Wasserdampfes heiße Quellen empor, denen eine ähnliche mineralbildende Kraft innewohnte (vgl. Silber 118).

Aufgaben: Welche Säuren waren vermutlich in den Dämpfen? Welche Wechselerzsetzung ging vor sich, wenn das Zinn etwa als Zinnchlorid aufstieg und mit Wasser zusammentraf? Vervollständige die chemische Gleichung: $\text{Sn Cl}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} = ?$

Eisen.

125. **Gediegenes Eisen.** Das allbekannte Eisen gehört zu den wichtigsten Elementen, die die Erde sowohl wie die übrigen Himmelskörper zusammensetzen. Wenn bei Sternschnuppenfällen Bruchstücke fremder Weltkörper als sogenannte Meteoriten auf die Erde gelangen, so erweisen sich diese oft als reines *kosmisches* oder *siderisches Eisen* (griech. kosmos = Weltall, lat. sidera = Gestirne), vermischt mit etwas Nickel. Schleift man ein solches Meteor-eisenstück an und ätzt die Schlißfläche mit einer Säure, so entstehen sich kreuzende, helle Liniensysteme (*Widmannstättensche Figuren*), die die nickelreichen Stellen kennzeichnen (Tafel III, 8).

Im Jahre 1870 fand der Forschungsreisende Nordenskjöld bei Ovifak auf der Insel Disko (Westgrönland) gewaltige Eisenmassen bis zu 500 Zentnern Gewicht. Man hielt sie früher auch für kosmisch, hat aber nun festgestellt, daß sie von flüssigen Basaltmassen mit aus dem Erdinnern emporgebracht worden sind (*tellurisches Eisen*, von tellus = Erde). Vielleicht sind sie auch erst während des Empordringens aus Eisenoxyd (Fe_2O_3) durch Kohlenstoff reduziert worden. Daß im Erdinnern große Eisenmengen vorhanden sein müssen, hatte man schon lange vorher aus der hohen Dichte des Erdkerns geschlossen. Aber auch jedes Gestein, das den Erdtiefen entstammt beweist uns den Eisengehalt: der dunkle Glimmer, Augit, die Hornblende verdanken Eisenverbindungen ihre Farbe; je schwärzer vulkanische Lava, um so eisenreicher ist sie. Wo Gesteine auffällig rot erscheinen, ist gewöhnlich Eisenoxyd das Färbemittel.

126. **Eisenerzlager.** Das Eisen, ursprünglich der Tiefe entstammend, gelangt durch die Verwitterung der Massengesteine zu einer überaus weiten Verbreitung innerhalb der Erdkruste. Das meiste Wasser auf Erden stellt eine äußerst verdünnte *Lösung von Eisensalzen* dar; es enthält z. B. schwefelsaures Eisenoxyd (Ferrisulfat, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), doppelkohlen-saures Eisen (Eisenbikarbonat, saures kohlen-saures Eisenoxydul — in sogenannten Stahlwässern). Durch chemische Einwirkungen werden diese löslichen Salze in unlösliche Verbindungen umgewandelt, z. B. in *wasserhaltiges Eisenoxyd* (Eisenoxydhydrat, Ferrihydroxyd, $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Auch kleine Lebewesen, *Bakterien*, vermögen Eisenhydroxyd in ihrer Zellhaut niederzuschlagen, und größere Pflanzen zwingen durch Aufnahme von Kohlensäure die Eisensalze zum

Ausscheiden. So bedecken sich Seegründe oft mit dicken, allmählich hart werdenden Schichten von Eisenhydroxyd (*Seeerz*), und in Sümpfen werden die Pflanzenleichen ganz mit brauner Zwischenmasse verkittet (*Raseneisenerz*, mit bis 6% Phosphorsäure). Bedecken solche Massen größere Flächen, so nennt man sie *Eisenerzlager*. Werden sie später durch Schlamm oder andere Ablagerungen zugedeckt, so entstehen ähnliche Lagerstätten wie in Steinkohlengebieten: man spricht von *Erzflözen*.

Eisenerzflöze aus früheren Erdperioden findet man oft in den Schichten, die den Steinkohlenlagern benachbart sind, z. B. bei Zwickau i. S., im Ruhrkohlengebiet, in Wales und Schottland.

127. Die wichtigsten Eisenerze. Außer dem feinverteilten Eisengehalt, den das *Magma* mit aus der Tiefe bringt, und den chemisch ausgeschiedenen *Eisensedimenten* gibt es noch eine Anzahl von charakteristischen Mineralien, die sich größtenteils wohl *nachträglich* aus jenen gebildet haben. Wie nämlich Tonschiefer oder Kalkstein mit zunehmendem Alter oder unter hohem Gebirgsdruck die Neigung haben, kristallinisch zu werden, so auch die Eisenerzflöze (Metamorphose). Dabei werden die Verbindungen immer eisenreicher und sauerstoffärmer. Für die Verhüttung kommen besonders folgende *Arten* in Betracht:

1. *Brauneisenerz*, *Limoniit* (gr. leimón = Wiese, Sumpf), Eisenoxyd + Wasser, $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$, die ursprüngliche Form der Eisenerze aus wässriger Lösung, also auch des Seeerzes und Raseneisenerzes. Weitere Abarten:

a) *Brauner Glaskopf* (eigentlich wohl Glatzkopf), nierenförmige, kugelige, traubige oder eiszapfenähnliche Gebilde mit glänzend dunkelbrauner Oberfläche; im Innern aus strahlig von einem Punkte auslaufenden Fasern zusammengesetzt. Das Ritzpulver ist stets deutlich gelbbraun.

b) *Bohmerz*, aus braunen Kügelchen in ähnlicher Weise zusammengesetzt wie der Karlsbader Erbsenstein. Sind die Kugeln sehr klein, so spricht man von Eisenrognstein. In ihrem Aussehen damit verwandt ist die *Minette*, ein eisenreiches Gemenge von Eisenhydroxyd, Kalk, Phosphorsäure, Kieselsäure usw., in dem die Kügelchen nur hirsekorn groß sind. Unerschöpfliche Lager davon werden im Grenzgebiete von Lothringen, Luxemburg und Frankreich abgebaut.

c) *Gelber Ocker*, eine pulverige, erdige Masse, die als Farbstoff dient.

2. *Roteisenerz*, Eisenoxyd, Fe_2O_3 , in verschiedenen Abarten, die sich alle durch einen kirschroten Strich kenntlich machen:

a) *Eisenglanz*, in ähnlichen Kristallformen wie der Korund, oft in schönen, rosettenförmigen Gruppen (*Eisenrosen*) (Tafel II, 10). Die Kristalle erscheinen eisenschwarz bis stahlgrau. Ganz dünne Blättchen derselben erinnern an dunkle Glimmerschuppen und heißen deshalb *Eisenglimmer*.

b) *Roter Glaskopf*, *faseriges Roteisenerz*, entspricht in Form und strahligem Aufbau ganz dem braunen Glaskopf und ist oft nur durch den kirschroten Strich zu unterscheiden (Abb. 150). Große Mengen im Lahnggebiete.

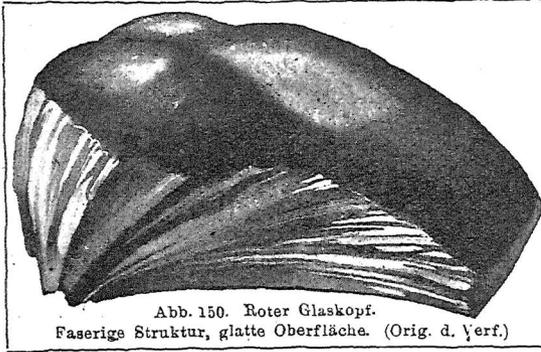


Abb. 150. Roter Glaskopf.
Faserige Struktur, glatte Oberfläche. (Orig. d. Verf.)

Manche Stücke werden geschliffen und unter dem Namen *Haematit* oder *Blutstein* (gr. haima = Blut) zu Schmucksachen verwendet.

c) *Dichtes Roteisenerz*, bräunlichrote, undeutlich kristallinische Massen, die oft mit Ton verunreinigt sind (*Toneisenstein*) und dann auch als Farbstoff-Verwendung finden (*Rötel, roter Ocker*). Eisenlager-

stätten mit Roteisen sind bei Schwarzenberg, Schneeberg, Eibenstock und Johanngeorgenstadt i. Erzg.

3. *Magneteisenerz*, Eisenoxyduloxyd, FeO , Fe_2O_3 , das wertvollste oxydische Eisenerz. Es bildet schöne Oktaederkristalle und verwandte Formen oder derbe Massen, färbt schwarz und wirkt — namentlich bei beginnender Verwitterung — magnetisch. In mikroskopischen Kriställchen tritt es in fast allen Massengesteinen, besonders reichlich im Basalt auf (Abb. 91). Erzlager bildet es bei Schmiedeberg i. Riesengeb., in Schweden (Dannemora und der Erzberg Gellivare). Hübsche Einzelkristalle sitzen oft im Chlorit- und Talkschiefer der Alpen.

4. *Spateisenstein*, Eisenspat, kohlen-saures Eisenoxydul, FeCO_3 . Er bildet sich unter Wasser, wenn der Luftsauerstoff nicht genügenden Zutritt hat, teils in größeren Lagern, teils auf Gängen. Gewaltige Mengen werden am Erzberg bei Eisenerz in Steiermark abgebaut. Seine gelbbraunen Kristalle entsprechen völlig denen des Kalkspates (39).

5. *Eisenkies, Schwefelkies, Pyrit*, Eisendisulfid, FeS_2 . Aus den Lösungen von Eisenvitriol scheidet sich durch Reduktion das Zweifachschwefeleisen, eins der verbreitetsten Erze, namentlich auf Gängen, aus — leider wegen seines Schwefelgehaltes zur Verhüttung wenig geeignet. Dagegen ist es das wichtigste Ausgangsprodukt für die Schwefelsäurefabrikation. Es bildet glänzend hellgelbe Kristalle, neben Würfel (häufig mit Streifung wie Abb. 152), und Oktaeder namentlich das *Pentagondodekaeder* (Abb. 151), begrenzt von 12 (gr. dodeka) Fünfecken (Pentagonen). Je zwei dieser Fünfecke treten in einer Kante dachähnlich zusammen. Mit Stahl geschlagen gibt dieses Erz stark nach Schwefel riechende Funken (gr. pyrites = Feuerstein).

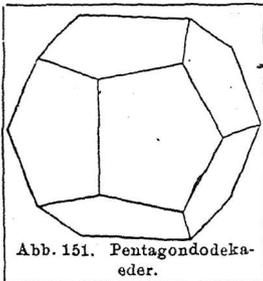


Abb. 151. Pentagondodekaeder.

Von derselben chemischen Zusammensetzung, aber rhombischen Kristallformen ist der *Markasit*. Das Schwefeleisen ist also wie das Kalziumkarbonat dimorph. Der Markasit bildet meist speer- oder kammförmige Kristall-



Abb. 152. Eisenkieswürfel
mit Streifung.

gruppen oder Kugeln von strahligem Aufbau. Er verwittert leicht zu Eisenvitriol und dient ebenfalls als Rohprodukt für die Schwefelsäurefabrikation.

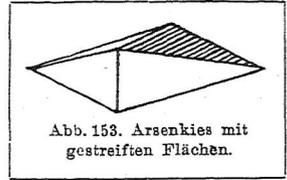


Abb. 153. Arsenkies mit
gestreiften Flächen.

6. *Magnetkies*, ein Sulfid von wechselnder Zusammensetzung, z. B. 5FeS , $2\text{Fe}_2\text{S}_3$. Frische Stücke sind gelb und glänzend wie der Pyrit;

an der Luft werden sie allmählich braungelb. Im Bayrischen Walde (Bodenmais) wird das Erz bergmännisch gewonnen, in Eisenoxyd umgewandelt und dann als Polierrot verwendet.

7. *Arsenkies*, ein zinnweißes Eisenerz von bedeutender Härte, das in seiner Zusammensetzung an den Eisenkies erinnert. Es ist aber ein Atom Schwefel durch Arsen ersetzt; die Formel lautet demnach FeSAs . Wegen des hohen Arsengehaltes heißt das Mineral auch *Giftkies*. Die Kristallform ist im einfachsten Falle eine ganz kurze rhombische Säule, geschnitten von einem nach vorn gerichteten Längsprisma. Letzteres ist häufig mit parallelen Streifen versehen (Abb. 153). Als Eisenlieferant spielt der Arsenkies keine Rolle aber auf Erzgängen ist er ein häufiges Mineral.

8. *Chrom Eisenstein*, weniger wegen seines Eisengehaltes, als wegen des Chromoxydes wichtig. Seine Formel ist FeO , Cr_2O_3 . Er bildet meist körnige Massen von braunschwarzer Farbe, fettigem Glanz und braunem Strich. Reichliche Lager befinden sich in Kleinasien und Nordkarolina. Man stellt aus ihm nicht nur die meisten Chromverbindungen her, sondern neuerdings auch das metallische Chrom, das als Zusatz zum Stahl verwendet wird.

Eisen ist für den Menschen bei weitem das wichtigste Metall; unsere ganze moderne Kultur, unsere blühende Industrie ist dadurch beeinflusst. (Über die Eisenverhüttung vgl. das Lehrbuch der Chemie!)

Eisenerzgewinnung der Hauptländer.

	1904	1908	1912
Vereinigte Staaten . . .	29 935 600 t	34 332 200 t	60 440 100 t
Deutschland, Luxemburg	22 047 400 „	24 278 200 „	32 692 100 „
England	13 994 700 „	15 272 300 „	14 011 700 „
Spanien	7 964 700 „	9 271 600 „	—
Frankreich	7 023 000 „	10 057 000 „	18 500 000 „
Rußland	5 240 000 „	5 587 000 „	8 218 800 „
Schweden	4 083 900 „	4 712 500 „	6 699 200 „
Österreich-Ungarn . . .	3 243 200 „	4 400 000 „(?)	—

Die Roheisenerzeugung der ganzen Erde wird für 1912 auf 73 Mill. t geschätzt. Das sind $8\frac{1}{3}$ Mill. cbm oder ein Würfel von 200 m Seitenlänge!

Aufgaben: Berechne den Eisengehalt obiger Erze nach den Formeln in Gewichtsprozenten. Welche Bedeutung hat Brauneisen für manche Sandschichten? Erhitze einen Splitter Brauneisen in einem einseitig geschlossenen Glasröhrchen und beobachte, wie sich das Glas mit Wasser beschlägt. Wie erfolgt die Umwandlung des Magnetkieses in Eisenoxyd? Wie erkennt man den Tongehalt im Eisenerz?

Stelle die verschiedenen Entstehungsarten von Erzen zusammen. Gruppiere die Erze nach ihrer chemischen Beschaffenheit.

128. Übersicht der übrigen besonders wichtigen Erze.

1. *Platin*, Plátinum, Pt, gediegen, aber in der Regel verunreinigt durch Eisen und die „Platinmetalle“ Iridium, Palladium, Osmium; in losen Körnern auf „Seifen“ im Ural, in Colombia, Kälifornien, Australien.

2. *Quecksilber*, Hydrárgyrum, Hg, auf Klüften in Tropfenform, in Idria (Krain), Almadén (Spanien), Toskana.

Zinnober, Quecksilbersulfid, HgS, rot bis grau, im Strich stets scharlachrot. Außer an den obigen Fundorten namentlich in Mexiko und Kalifornien. Der technisch verwertete Zinnober ist Kunstprodukt.

3. *Blei*, Plumbum, Pb, gediegen selten, sehr dehnbar, geschmeidig, leicht schmelzbar, spezifisch schwer.

a) *Bleiglanz*, PbS (siehe 117);

b) *Weißbleierz*, Bleikarbonat, PbCO₃, gehört nach seinen Kristallformen mit Aragonit in eine isomorphe Reihe.

4. *Zink*, Zincum, Zn, gediegen nicht vorhanden.

a) *Zinkblende*, ZnS (siehe 117);

b) *Zinkspat*, Zinkkarbonat, ZnCO₃, braust mit Salzsäure auf. Farbe weiß, hellgrau, gelb, braun, grün; Kristalle wie Kalkspat; gewöhnlich nierenförmig, traubig, schalig. Namentlich bei Aachen und Tarnowitz abgebaut; Rußland, Vereinigte Staaten.

c) *Kieselzinkerz*, Zinksilikat mit Wasser, Zn₂SiO₄ + H₂O, mit einseitig zugespitzten Kristallen, häufig aber traubig, tropfsteinartig, kugelig. Die traubigen usw. Massen vom Zinkspat sowohl als vom Kieselzinkerz heißen in der Bergmannsprache *Galmei*.

5. *Mangan*, Mn, grauweiß, hart, spröde.

Pyrolusit (gr. πῦρ = Feuer, λúo = ich wasche; weil er zum Entfärben von Glas dient) MnO₂. Licht eisenschwarz, sehr weich. Die Manganoxyde von verschiedener Zusammensetzung faßt man auch als *Braunstein* zusammen. Thüringen, Harz, Kaukasus, Brasilien, Ostindien.

6. *Nickel*, Nicolum, Ni, hart, stark weißglänzend (die 75% Cu enthaltenden Nickelmünzen geben diese Farbe nicht rein wieder), gediegen in Meteoreisen.

a) *Rotnickelkies*, Kupfernichel, NiAs. Wegen der rötlichen Farbe zuerst für kupferreich gehalten, später nach genauerer Untersuchung mit dem Schimpfnamen Kupfernichel belegt. Erzgebirge.

b) *Garnierit*, ein grünes Gemisch von wasserhaltigem Magnesiumsilikat mit wasserhaltigem Nickelsilikat, das einzige technisch wichtige Nickelerz. Vorkommen in Gängen im Serpentin von Neukaledonien und Kanada. In neuester Zeit auch in Preußisch-Schlesien und in der Lausitz.

7. *Wismut*, Bismutum, Bi, rötlich silberweiß. Die Kristalle sind würfelförmige Rhomboeder mit treppenförmig vertieften Flächen. Häufiger sind federförmige Gebilde. Wismut schmilzt schon bei 270° und gibt auf Kohle erhitzt einen gelben Beschlag.

Wismutglanz, Bi_2S_3 , in langen Nadeln kristallisierend.

8. *Kobalt*, Cobaltum, Co, rötlich bis stahlgrau, in Verbindung mit Eisen, Nickel und Arsen auftretend.

a) *Kobaltglanz*, CoAsS , rötlichweiß, kristallisiert in ähnlichen Formen wie Eisenkies.

b) *Speiskobalt*, CoAs_3 , kristallisiert in Würfeln und Oktaedern. Der rötliche Beschlag, den viele Stücke zeigen, ist ein Verwitterungsprodukt, die *Kobaltblüte*.

Aus den Kobalterzen stellt man ein blaues Glaspulver, die *Smalte* her, die in der Porzellan- und Glastechnik als wichtiges Färbemittel dient. Hauptsitz der Kobaltindustrie ist das Erzgebirge (Schneeberg).

9. *Antimon*, Stibium, Sb, zinnweiß, spröde, leicht schmelzbar, gibt auf Kohle erhitzt weißen Rauch.

Antimonglanz, Grauspießglanz, Sb_2S_3 , meist in Nadelbüscheln kristallisierend, stahlgrau glänzend, oft blau angelaufen, sehr weich (H. 2), schmilzt schon in der Kerzenflamme. Das Mineral wurde von den Spartanern als Schminke für die Augenbrauen benutzt. Jetzt dient das Antimon namentlich zur Herstellung von Letternmetall. Hauptherstellungsgebiete sind Österreich-Ungarn, England und Japan.

10. *Arsen*, As, gediegen in feinkörnigen Massen, oft mit nierenförmiger Oberfläche und schaliger Absonderung („Scherbenkobalt“). Mit Wismut zusammen oft auf Erzgängen, z. B. im Erzgebirge.

Realgar, As_2S_3 , schön rot, bildet sich künstlich in den Arsenhütten und heißt dann Rotglas. Durch Lichteinwirkung verwittert es leicht zu

Auripigment, Orpiment, Rauschgelb, As_2S_3 . Zitronengelb und oft lebhaft glänzend, dient als Farbstoff.

11. *Uranpecherz*, pechschwarze, fettglänzende Massen von nierenförmigem Aufbau, die in der Hauptsache aus dem Oxyd des Uranmetalles bestehen. Stets aber enthalten sie auch wechselnde Mengen von Blei, Eisen, Wismut, vor allem aber Spuren von Radium. Bis vor kurzem wurde das Uranpecherz nur bei Joachimsthal im böhmischen Erzgebirge abgebaut, um es zur Herstellung des grünen Uranglases zu verwenden. Jetzt sucht man auch die kleinen Vorkommnisse im sächsischen Erzgebirge auszubeuten, um das Radium zu gewinnen. Dieser rätselhafte Stoff sendet unsichtbare Strahlen aus, bringt Diamanten zum Leuchten, krankhafte Gewebe (Krebs) zum Absterben, erzeugt aber auch im gesunden Gewebe gefährliche Brandwunden.

XI. Sitz der vulkanischen Kräfte.

129. **Aufbau der Erdkugel.** Wir haben uns bisher begnügt, die Herkunft der flüssigen Lava, des heißen Quellwassers in eine unbekannte Tiefe des Erdballes zu verlegen. Eine genauere Bestimmung dieses Ortes führt uns ins Bereich der *Hypothesen*; denn die Teile der Erde, über die sich der Mensch wirklich Rechenschaft geben kann, sind überaus gering. Wir unterscheiden von außen nach innen:

1. die *Atmosphäre* (gr. atmós = Luft, sphaíra = Kugel), eine Hohlkugel aus Luft, deren Dicke wir auf 80 bis 500 km schätzen;
2. die *Hydrosphäre* (gr. hýdor = Wasser) oder Wasserhülle, die bei gleichmäßiger Ausbreitung etwa 2 km dick sein würde;
3. die *Lithosphäre* (gr. lithos = Stein) oder Gesteinsrinde, in die der Mensch nur wenig über 2 km tief eingedrungen ist;
4. den *Erdkern* (Pyrosphäre, gr. pyr = Feuer oder Barysphäre, gr. barys = schwer), von dessen Beschaffenheit wir nur die zwei Eigenschaften sicher beweisen können: seine gewaltige Hitze und seine bedeutende Dichte.

130. **Beweise für die Hitze im Erdinneren.** Bis zu einer Tiefe von 20 m ist die Temperatur von Fels und Erdboden von der wechselnden Zufuhr der Sonnenwärme abhängig, also warm in der heißen Zone, frosthart in den Polargegenden, wärmer im Sommer als im Winter. Dann kommt eine Zone, die sich jahraus, jahrein ganz gleichmäßig hält, und zwar entsprechend der mittleren Jahrestemperatur des betreffenden Ortes. So zeigt ein Thermometer im Keller der Pariser Sternwarte seit mehr als 100 Jahren 11,8° C. Je mehr wir unter diese Zone hinabsteigen, *desto höher wird die Temperatur*. Zahlenbeweise dafür liefern uns:

1. *Bergwerke*: In den Goldgruben der Sierra Nevada (Nordamerika) fand man bei 300 m Tiefe 30°, in einem Schacht am Oberen See bei 1396 m 26,11°.

2. *Bohrlöcher*: Spereberg bei Berlin bei 1064 m 46,5°, Schladebach bei Merseburg bei 1716 m 56,8°, Paruschowitz in Schlesien bei 1959 m 69,3°, Czuchow in Oberschlesien bei 2220 m 83,4°.

3. *Tunnel*: Arlbergtunnel 18,5°, St. Gotthardtunnel 30,4°, Simplontunnel 53° Gesteinstemperatur, 55—60° Wasserwärme (man hatte nur 47° und 53° vorher berechnet!)

Aus noch größeren Tiefen erhalten wir Aufschluß durch:

4. *Heiße Quellen*: Baden-Baden 86°, Karlsbader Sprudel 72,5°, Wiesbaden 68°, Ems 50°, Teplitz 37°.

5. *Springquellen*: Geysir auf Island 76—89°, im Schlot bei 32 m Tiefe über 130°.

6. *Geschmolzene Lava*: Vesuvlava 1000—1070°, Ätnalava unter 960°, im Vesuvherd vermutlich 1400—1500°.

Namentlich aus den Messungen in Bohr-
löchern hatte man berechnet, daß auf unge-
fähr 33 m Tiefenzunahme eine durchschnitt-
liche Temperaturerhöhung von 1°C kommen
würde (geothermische Tiefenstufe). Daraus
folgerte man weiter, daß bei $30 \cdot 100 = 3000$ m
Tiefe der Siedepunkt des Wassers, bei
 $30 \cdot 2000 = 60$ km der Schmelzpunkt für alle
Gesteine erreicht und somit die Dicke der
starrten Erdkruste auf etwa 50 km anzunehmen
sei. Aber in dieser Rechnung stecken viele
Fehler: erstens ist die Temperaturzunahme in
ein und demselben Bohrloch durchaus nicht
in allen Tiefen gleichmäßig rasch, so daß man
aus der kurzen Beobachtungsreihe nicht auf
eine beständige Zunahme nach der unbekannt-
ten Tiefe schließen darf; zweitens weichen neu-
erdinge gewonnene Werte, z. B. in Bergwerken,
so sehr von dem Durchschnitt ab, daß eine all-
gemeingültige Zahl gar nicht gewonnen werden
kann; drittens sind Siedepunkt des Wassers
und Schmelzpunkt der Gesteine unter hohem
Druck ganz anders als an der Erdoberfläche.

131. Aggregatzustand der Erde. Wenn
nach unseren Auseinandersetzungen die Angaben über die *Dicke der starrten Erdkruste* überaus unsicher sind, so neigen neuere Forscher doch meist zur Annahme einer viel größeren Dicke, als A. v. Humboldt (40—50 km) vermutete. Aber auch heute noch schwanken die Vermutungen der Gelehrten zwischen 40 und 2000 km (vgl. Abb. 154, 155).

Daß in größerer Tiefe eine Hitze herrscht, die den Schmelzpunkt aller Gesteine weit übersteigt, ist sicher. Man nahm deshalb früher allgemein einen *glühendflüssigen Erdkern* an. Aber die Physik lehrt, daß man flüssige Körper durch hohen Druck verfestigen kann, und dies gestattet den Schluß: unter dem ungeheuren Drucke der Erdrinde muß das Innere *verfestigt* sein, und nur wo der Druck plötzlich aufgehoben wird, z. B. bei den Vulkan-schloten, verflüssigt sich die Masse. Dem widerspricht aber wiederum eine Erfahrung: Wenn man ein Gas durch hohen Druck verflüssigt und dann erhitzt, so erreichen wir eine Temperaturgrenze (z. B. bei flüssiger Kohlen-säure $+ 31^{\circ}$), bei deren Überschreitung die Flüssigkeit auch unter sehr hohem Drucke vergast. Man nennt diesen Grenzpunkt „kritische Tempera-tur“. Nun ist die Hitze im Erdinnern vermutlich höher als die kritische Temperatur aller irdischen Körper; daraus hat man gefolgert, daß der Erd-kern weder flüssig, noch fest, sondern *gasförmig* sei. Aus der Fortpflanzung

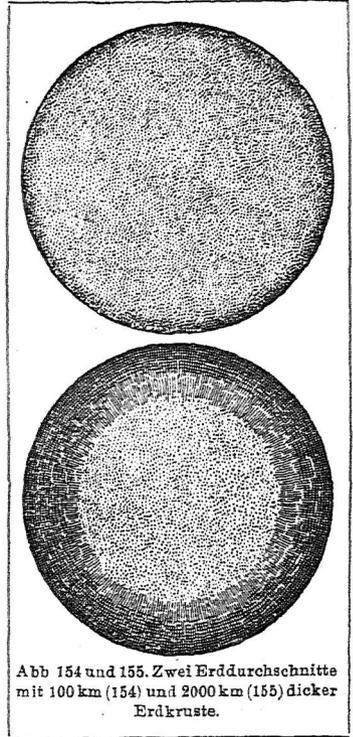


Abb 154 und 155. Zwei Erddurchschnitte mit 100 km (154) und 2000 km (155) dicker Erdkruste.

der Erdbebenwellen mitten durch die Erde hat man endlich geschlossen, daß der Erdkern von etwa 1500 km Tiefe an starr und elastisch sein müsse. Jedenfalls handelt es sich um einen Aggregatzustand, auf den sich unsere üblichen Ausdrücke „fest, flüssig, gasförmig“ überhaupt nicht anwenden lassen.

132. *Entstehung der Erde.* Nach unseren Auseinandersetzungen scheint es offenbar zu sein, daß der Ursprungsort aller vulkanischen Lava das glutige Erdinnere ist, und daß die Vulkanschlote gewissermaßen die „*Sicherheitsventile*“ darstellen, durch die der Erdkern gelegentlich sich von einem Teile seiner furchtbar zusammengepreßten Masse befreit. Diese Anschauung war allgemein verbreitet, als man noch fest an eine sehr dünne Erdkruste glaubte. Sie ist aber völlig unhaltbar, wenn man dieselbe nach Hunderten oder gar Tausenden von Kilometern bemißt. Um aus dieser Schwierigkeit einen Ausweg zu finden, müssen wir jene Hypothesen kennen lernen, die uns die *Entstehung des Erdballes* zu erklären versuchen.

Am meisten verbreitet ist noch immer — trotz mancher Einwände — die Hypothese des Pariser Mathematikers und Astronomen Laplace (1749 bis 1827). (*Gasevolutionstheorie*, von lat. *evolutio* = Entwicklung.)

Darnach war unser ganzes Sonnensystem ursprünglich ein gewaltiger, sich von West nach Ost um eine Achse drehender *Ball aus sehr dünnen Gasen*, und in seinem Aussehen einem „Nebelfleck“ am Himmel ähnelnd. Durch die Fliehkraft rissen sich am Äquator *Ringe* ab (vgl. Saturn), die sich zu Kugeln oder *Planeten* zusammenballten. An diesen wiederholte sich das geschilderte Schauspiel: *Monde* oder *Trabanten* bildeten sich. So war auch die Erde zunächst ein *glühender Gasball*.¹⁾ Er *verflüssigte* sich durch Verdichtung. Wie in einem Schmelzofen sich die Verunreinigungen als Schlacken von den Metallen scheiden, so bildeten sich auf der Erdoberfläche schwimmende *Schollen aus leichten Silikaten*. Diese verbanden sich schließlich zur ersten *Erstarrungskruste*. Sobald diese dick genug war und sich genügend abgekühlt hatte, schlug sich aus der Atmosphäre der Wasserdampf nieder; ein brodelndes *Urmeer* begann seine felszerstörende Arbeit, und die Bildung der *Sedimentgesteine* nahm ihren Anfang. Der Urozean wurde endlich die Wiege, in der das erste organische Leben in Form eines Schleimklümpchens erwachte.

1) Gewöhnlich nennt man die Hypothese gleichzeitig nach dem Königsberger Philosophen Immanuel Kant (1724—1804). Dessen Theorie läßt aber die Weltenkörper durch Zusammenballung der Atome entstehen, unterscheidet sich also in einem recht wesentlichen Punkte von der Ansicht Laplaces. (Eine genauere Gegenüberstellung der Weltbildungshypothesen bieten des Verfassers „Grundfragen der allg. Geologie“, Leipzig 1912.)

XII. Historische Geologie.

133. Grundlagen der Erdgeschichte. Was uns Kant und Laplace lehrten, ist ein Kapitel der Astronomie. Es gehörte nur insoweit hierher, als es zum Verständnis des Vulkanismus nötig war. Die eigentliche Erdgeschichte oder *historische Geologie* beginnt erst mit dem Auftreten des Urmeeres, mit der Ablagerung von Schichtgesteinen. Wer Erdgeschichte studiert, treibt eine ähnliche Wissenschaft wie der eigentliche Historiker. Auch der Erdball hat seine großen Ereignisse durchgemacht, Revolutionen innerhalb seiner Rinde, Reformationen, lang dauernde Kämpfe um die Vorherrschaft der einzelnen Tier- oder Pflanzengeschlechter.

Freilich wird es nie gelingen, diese Ereignisse und ihre Dauer *zeitlich* festzulegen. Alle Bemühungen, geologische Bildungen nach Jahren oder auch nur nach Jahrmillionen zu berechnen, sind fruchtlos. Nur ein Beispiel möge andeuten, mit welcher ungeheueren Zeiträumen der Geolog rechnet. Innerhalb der Sedimentgesteine findet man weit ausgedehnte Kalksteinlager von mehr als 1000 m Mächtigkeit, die — über die ganze Erdoberfläche verteilt — eine Schicht von über 160 m ergeben würden. Man hat nun berechnet, daß zur Bildung einer meterdicken Schicht von Kalkstein auf dem Meeresboden mehr als 3 Millionen Jahre erforderlich sind und daß die gesamte Kalkmasse 600 Millionen Jahre zu ihrem Absatz gebraucht hat. So unzuverlässig diese Schätzung auch sein mag, sie gibt uns wenigstens einen Anhalt zur Beurteilung geologischer Entwicklungsprozesse.

Wir müssen uns also mit gegenseitigen Altersbeziehungen begnügen und gliedern zu diesem Zwecke die lange Kette der Ereignisse in folgende *Zeitalter* oder *Ären* (lat. aera):

1. *Urzeit, archaische Ära* (gr. archaios = uranfänglich).
2. *Altertum, paläozoische Ära* (palaios = alt, zoon = Lebewesen).
3. *Mittelalter, mesozoische Ära* (mesos = mitten).
4. *Neuzeit, neozoische oder känozoische Ära* (neos, kainos = neu).

Jede Ära teilen wir in kleinere Zeitabschnitte oder *Perioden*, diese wieder in *Epochen* (epochē = eigentlich der Halte- oder Wendepunkt zwischen zwei Zeiten) und noch kürzere Unterabteilungen.

Jeder Zeitabschnitt hat uns zweierlei Andenken hinterlassen: 1. *Gesteinsablagerungen*, 2. darin eingeschlossene *Reste von Lebewesen*. Die innerhalb einer Periode gebildeten Gesteine nennt man ein Schichtensystem oder kurz ein *System* (gr. systēma = ein zusammengesetztes Ganzes)¹⁾; die gesamten Systeme

1) Wir halten uns in obigen Ausdrücken an die Beschlüsse der „Commission internationale de classification stratigraphique“ und vermeiden deshalb im Text die noch viel gebrauchte Bezeichnung „*Formation*“. In der folgenden Übersicht haben wir aber entgegen den Beschlüssen das Perm als selbständiges System bestehen lassen, weil es für Deutschland von hervorragender Bedeutung ist.

faßt man als *Gruppe* zusammen; Unterabteilungen der Systeme heißen *Serien*.

Bisweilen zeigen Schichtenserien eine sehr abweichende Beschaffenheit, obgleich sie sich als gleichaltrig erweisen. Dies liegt dann an der Art oder dem Ort ihrer Ablagerung, je nachdem sie sich auf dem Grunde des Meeres (*marin*, lat. mare = Meer) oder auf dem Festlande (*terrestrisch*, lat. terra = Erde) gebildet haben. Man bezeichnet solche verschiedenartige Ausbildungsweisen als *Fazies* (lat. *facies* = Gestalt, Antlitz).

Will man wissen, in welches System eine Gesteinsmasse gehört, so hat man folgende Kennzeichen:

1. *Gesteinsart*. In alten Schichten überwiegen dunkle, kieselsäurereiche Gesteine; Kalk tritt etwas später auf. Alte Gesteine sind oft fester, neue noch locker. Da es aber sehr viele Ausnahmen von dieser Regel gibt, und da Sandsteine, Kalksteine u. a. in fast allen Systemen vorkommen, ist die Gesteinsart höchstens innerhalb einer beschränkten Schichtenfolge ein zuverlässiger Führer.

2. *Schichtenfolge*. Normalerweise sind die unteren Schichten älter als die darüberliegenden, und wenn auch eine Gegend nie die lückenlose Folge aller Systeme aufweist, so lernt man durch Vergleichen verschiedener Profile die gleichaltrigen Schichten kennen. Da aber die gebirgsbildenden Kräfte an vielen Orten die Schichten stark verschoben, ja völlig umgestürzt haben, so ist auch die Schichtenfolge kein untrügliches Kennzeichen der Altersstufe.

3. *Versteinerungen*. Viele Tiere hinterlassen nach ihrem Tode ihre Stütz- oder Schutzgerüste: Knochen, Chitinpanzer, Gehäuse, Schalen. Bei andern werden die Hohlräume des Körpers oder des Gebäuses mit Schlamm und Sand ausgefüllt, der allmählich zu einem sogenannten Steinkern erhärtet und eine getreue Abformung der Höhlen liefert. Endlich können bei der Fäulnis der organischen Substanz Metallsalze reduziert werden, so daß sich Erz auf den Tierleichen absetzt. Pflanzenreste sind entweder in Form von Kohle erhalten, oder die Zellen sind verkieselt. Solche erhaltene Reste von Organismen heißen *Petrefakten* (gr. *pétros* = Fels, lat. *factum* = gemacht) oder *Fossilien* (lat. *fossa* = Graben, *fóssilis* = aus der Erde gegraben). Schon ein flüchtiger Blick in eine Petrefaktensammlung lehrt, daß die Lebewesen durchaus nicht zu allen Zeiten dieselben gewesen sind, daß jede Periode ihre charakteristische Flora und Fauna gehabt hat. Folglich müssen die aufgefundenen Fossilien ein wichtiges Kennzeichen für die Altersbeziehungen der Schichten sein; sie sind die „Denkmünzen der Schöpfungsgeschichte“. Nicht jedes Fossil eignet sich zu diesem Zwecke gleich gut, am besten diejenigen, die in einer bestimmten Periode überaus häufig und über weite Strecken verbreitet waren, die in den Perioden vor- und nachher dagegen fehlten oder nur selten auftraten. Solche Fossilien heißen *Leitfossilien*; denn sie leiten den Geologen ebenso bei seinen Altersbestimmungen, wie den Historiker die Funde von Münzen, Waffen usw.

Wenn der Geolog ein größeres Gebiet durchforscht hat, pflegt er die Ergebnisse in eine *Landkarte* einzutragen, und zwar durch *Flächenfarben*. Während er aber in vulkanischen Gegenden die einzelnen Arten der Massengesteine durch Farben unterscheidet, gibt er in Sedimentgebieten nur dem Alter der Schichten durch die Farbe Ausdruck, die Gesteinsarten dagegen trennt er höchstens auf Spezialkarten. Die Farben für die einzelnen Systeme oder Formationen sind neuerdings durch internationale Vereinbarung¹⁾ festgesetzt.

Außer der Farbe werden auf geologischen Karten noch *Symbole* verwendet, die das Lesen derselben ungemein erleichtern. Nur einige Beispiele dazu: *G* = Granit, *B* = Basalt, *P* = Porphy, *Bn* = Nephelinbasalt, *Pl* = Leisniger Porphy, *Gnc* = Augengneis, *s* = Silur, *r* = Rotliegendes, *zo* = oberer Zechstein, *rm2* = 2. Stufe des mittleren Rotliegendes, *al* = alluvialer Lehm, *⋈* = Bergwerke im Betrieb usw. Wir geben nun zunächst in der Tabelle (S. 142) die Namen und Hauptkennzeichen der einzelnen Abteilungen.

Archaisches Zeitalter.

135. Als die dicke Atmosphäre, die den heißen Erdball umgab, begann, ihren Wasserdampf auszuschleiden²⁾, entstand das kochende Urmeer. In welcher Weise die ersten brodelnden Regen die Erdoberfläche zerstört haben, wie sich die Trümmer auf dem Meeresgrunde zu Sedimenten auftürmten, wird uns wohl immer verschleiert bleiben. Denn riesige vulkanische Ergüsse haben längst die Ursedimente bedeckt, und diejenigen, die von diesem Schicksal nicht betroffen waren, sind nachträglich so verändert worden, daß wir ihren ursprünglichen Zustand nicht erkennen können. Ebenso wenig läßt sich die Zeit angeben, wann das erste organische Leben sich einstellte. Vielleicht so früh, als überhaupt die Wassertemperatur die Bildung von Eiweiß zuließ — aber da die ersten lebenden Wesen vermutlich keine harten, erhaltungsfähigen Körperteile besaßen, sind uns ihre Spuren für immer verloren gegangen. Wenn man das älteste Zeitalter bisweilen als *azoisches* (gr. *a* = ohne, *zoon* = Lebewesen) bezeichnet, so dürfen wir dies nur so auffassen, daß wir aus jenen Schichten keine organischen Reste *kennen*. (Manche Graphite werden z. B. als Reste uralter Organismen gedeutet; 55.)

136. *Kristallinische Schiefergesteine*. In allen Teilen der Erde hat man unter den ältesten, fossilführenden Schichten ein „*Grundgebirge*“ gefunden, dessen Gesteine durch lagenförmigen Aufbau zwar den Eindruck von Sedimenten machen, aber durch deutliche Kristallbildungen der Mineralgemengteile wieder mehr an die Eruptivgesteine erinnern. Man hat sie deshalb als

1) Archaisch = rosa, Kambrium-Silur = grünlichblau, Devon = braun, Karbon = grau, Trias = violett, Jura = blau, Kreide = grün, Tertiär = gelb, Quartär = weiß. Doch zeigen ältere Karten noch wesentliche Abweichungen hiervon.

2) Der damalige Atmosphärendruck verhielt sich zum heutigen nach einer neueren Berechnung wie 257 : 1. Bei solch hohem Drucke verflüssigt sich aber der überhitzte Wasserdampf bereits, wenn er sich unter 365° abkühlt. So heiß war also das erste flüssige Wasser der Erde!

134. Tabelle zur historischen Geologie.

Ära Gruppe	Periode System (Formation)	Epoche Serie (Reihe)	Merkmale
Neuzeit Känozoische Gruppe	Quartär	Alluvium	Absätze der jetzigen Gewässer, jüngere Torfmoore, Eruptionsprodukte tätiger Vulkane.
		Diluvium	Eiszeit. LÖB. Mammut. Mensch in Europa.
	Tertiär	Pliocän Miocän Oligocän Eocän	Große Faltungen, Brüche, vulkanische Ergüsse. Braunkohlen. Riesensäugetiere, Huftiere.
Mittelalter Mesozoische Gruppe	Kreide	Obere Kreide Untere Kreide	Ammoniten, Belemniten sterben aus. Viele Foraminiferen. Zahntragende Vögel. Erste Laubbölzer (Windblütler).
	Jura	Oberer J. (Malm) Mittlerer J. (Dogger) Unterer J. (Lias)	Blütezeit der Ammoniten, Belemniten. Erste Knochenfische. Große Meeresreptilien, Flugsaurier. Erste Vögel.
	Trias	Keuper Muschelkalk Buntsandstein	Lungenfische. Erste Säugetiere? Lettenkohle. Wüstenbildungen.
Altertum Paläozoische Gruppe	Dyas (Perm)	Zechstein	Steinsalzlager, Kupferschiefer.
		Rotliegendes	Große Deckenergüsse, Steinkohlen (Nadelbäume, Palmenfarne), erste Reptilien.
	Karbon	Produktives K. Unterkarbon	Erste luftatmenden Wirbeltiere (Amphibien), Blütezeit der Gefäßkryptogamen. Steinkohlen.
		Devon	Viele Korallen. Panzerfische. Verwandte unserer Nadelhölzer.
	Silur	Blütezeit der Graptolithen, Trilobiten, Brachiopoden. Nicht eingrollte Nautilen. Erste Wirbeltiere (Fische). Erste Landpflanzen (Kryptogamen).	
Kambrium (Präkambrium)	Nur wirbellose Tiere des Meeres. Seetang?		
Urzeit Archaische Gruppe	Urschiefer	Gesteine stark verändert. Organismenreste nicht erkennbar.	

kristallinische Schiefer bezeichnet oder — um ihr hohes Alter anzudeuten — als *archäische Schiefer*. Die wichtigsten sind folgende:

Gneis, ein schieferiges, lagenförmiges Gemenge von Feldspat, Quarz und Glimmer. Als Nebengemengteile treten auf Hornblende, Granat, Graphit u. a. Manche Abarten ähneln dem typischen Granit ungemein. Eine ganze Zahl von Unterarten läßt sich bilden, z. B. nach der Korngröße (Riesengneis, grobkörniger, mittelkörniger, feinkörniger, dichter), nach Schichtung (granitischer, flaseriger, d. h. wellig um größere Gemengteile geschichteter, schieferiger Gneis), nach Glimmer (Biotitgneis oder grauer, Muskovitgneis oder roter, Zweiglimmergneis), nach Nebengemengteilen (Hornblendegneis, Graphitgneis u. a.). Gneis ist weit verbreitet in den deutschen Mittelgebirgen (Erzgebirge, Fichtelgebirge, Böhmerwald, Riesengebirge usw.), in den Zentralalpen und Skandinavien.

Als eine Abart und als Stellvertreter des Gneises betrachtete man bis vor kurzem den

Granulit, ein ausgezeichnet lagenförmiges Gemenge von Feldspat und Quarz, dazu mit Granaten, Biotit usw. Wegen seiner hellen Farbe hieß er früher Weißstein. Genauere Untersuchungen haben aber gezeigt, daß er durchgängig in Farbe und Schichtung ebenfalls sehr abändert und in ein völlig ungeschichtetes, granitisches Gemenge übergeht. Er setzt das Sächsische Mittelgebirge (Abb. 88) zusammen und kommt in kleineren Mengen auch im Fichtelgebirge und Böhmerwald usw. vor.

Glimmerschiefer, schieferiges Gemenge aus Glimmerblättchen (meist Muskovit) und Quarz. Letzterer bildet dicke, linsenförmige Knollen oder flache Scheibchen. Durch viele eingelagerte Granate zeigen sich die Schieferflächen oft buckelig. Tritt der Quarz allein auf, so entstehen Partien von *Quarzschiefer*. Der Glimmerschiefer überlagert oft den Gneis, z. B. im Erzgebirge, Riesengebirge, Fichtelgebirge usw. und geht nach oben ganz allmählich über in den

Phyllit (gr. phýllon = Blatt). Dieser bildet ein dünnstiefriges Gestein von grünlicher, violetter bis schwarzer Farbe, dessen kristallinische Gemengteile nur, unter dem Mikroskop sich unterscheiden lassen. Es sind Quarz und Glimmerminerale. Die Glimmerblättchen sind vielfach ineinander zu Häuten und Schuppen verwoben, wodurch das Gestein einen seidenartigen Schimmer erhält.

In mannigfachem Wechsel mit den genannten Gesteinen treten auf die bereits früher erwähnten: *Chloritschiefer* (69, 106), *Talkschiefer* (66), *Hornblendeschiefer* (70).

137. Alter der kristallinischen Schiefer. Neuere Forschungen haben gezeigt, daß es ganz falsch ist, alle „kristallinischen Schiefer“ schlechthin als archäische Sedimente zu bezeichnen. Dies beweist am besten die verschiedene *Entstehungsmöglichkeit der Gneisgesteine*:

1. *Eruptive Entstehung.* a) Das granitische Magma dringt zwischen Schie-

fergestein und erstarrt unterirdisch als pilz- oder brotförmiger Lakkolith (103). In den randlichen Teilen eines Lakkolithen stellen sich die ausgeschiedenen Kristalle bei der Verfestigung gern parallel zur Grenzfläche. So erklärt man heute den Granulit des sächsischen Mittelgebirges, die Gneise des Erzgebirges als gneisartig erstarrte Eruptivlakkolithe.

b) Das Granitmagma blättert die benachbarten Schiefermassen völlig auf (103), zwängt sich dazwischen, so daß sich ein lagenförmiges Mischgestein bildet (z. B. die Lagergranite, Granitgneise am Rande des sächsischen Granulitgebirges).

c) Der Granit erstarrte ursprünglich richtungslos körnig und wurde erst später durch Gebirgsdruck (Dynamometamorphose von gr. dynamis = Kraft) in ein Gestein mit Parallelstruktur umgewandelt („gequetschter Granit“).

2. *Sedimentäre Entstehung.* a) Früher betrachtete man den Gneis als kristallinischen, chemischen Niederschlag des Urmeeres. Wir haben bereits ausgesprochen, daß wir die damaligen Bildungsverhältnisse durchaus nicht kennen.

b) Er war bei seiner Ablagerung ein deutliches Trümmergestein und ist erst nachträglich durch Gebirgsdruck (Dynamometamorphose) oder Einwirkung benachbarter Eruptivmassen (Kontaktmetamorphose, 104) kristallinisch geworden.

Letztere Erklärung gilt namentlich auch für Glimmerschiefer und Phyllit. Da aber die gebirgsbildenden Kräfte zu allen Zeiten sich äußern und Lakkolithe ebenfalls in verschiedenen Erdperioden entstanden sind, so können sich auch kristallinische Schiefer in den verschiedensten Systemen finden. Tatsächlich treten sie auch aus Zwischenlagen nicht nur in paläozoischen Schichten, sondern bis in das Kreidesystem hinein auf.

Für ihr geringes Alter spricht auch das Vorkommen von Versteinerungen, das man neuerdings in Glimmerschiefer und Phyllit oft nachgewiesen hat (meist Urtiere). So hat sich herausgestellt, daß die Glimmerschiefer am Rande des sächsischen Granulitgebirges ins Silur, die Phyllite z. T. bis ins Devon gehören.

Wenn wir also noch weiterhin von archaischen Schiefen reden wollen, müssen wir darunter Gesteine verstehen, die unter den ältesten fossilführenden Schichten liegen, die ferner ihre Entstehung aus Trümmern nachweisen lassen und in denen organische Reste nicht erkennbar sind.

Paläozoisches Zeitalter.

138. **Kambrium.**¹⁾ Die Gesteine, die die ältesten fossilführenden Schichten zusammensetzen, sind dunkelgefärbte Tonschiefer, Konglomerate, Grauwacken, Sandsteine, namentlich solche mit kieseligem Bindemittel, wenig Kalkstein.

Was uns an Resten von Lebewesen überliefert ist, gehört durchaus

1) Cambria = keltischer Name für Wales, wo diese alten Schichten zuerst eingehend studiert worden sind.

Erläuterung zu Tafel IV.

Zur Entwicklung der beschalteten Kopffüßer.

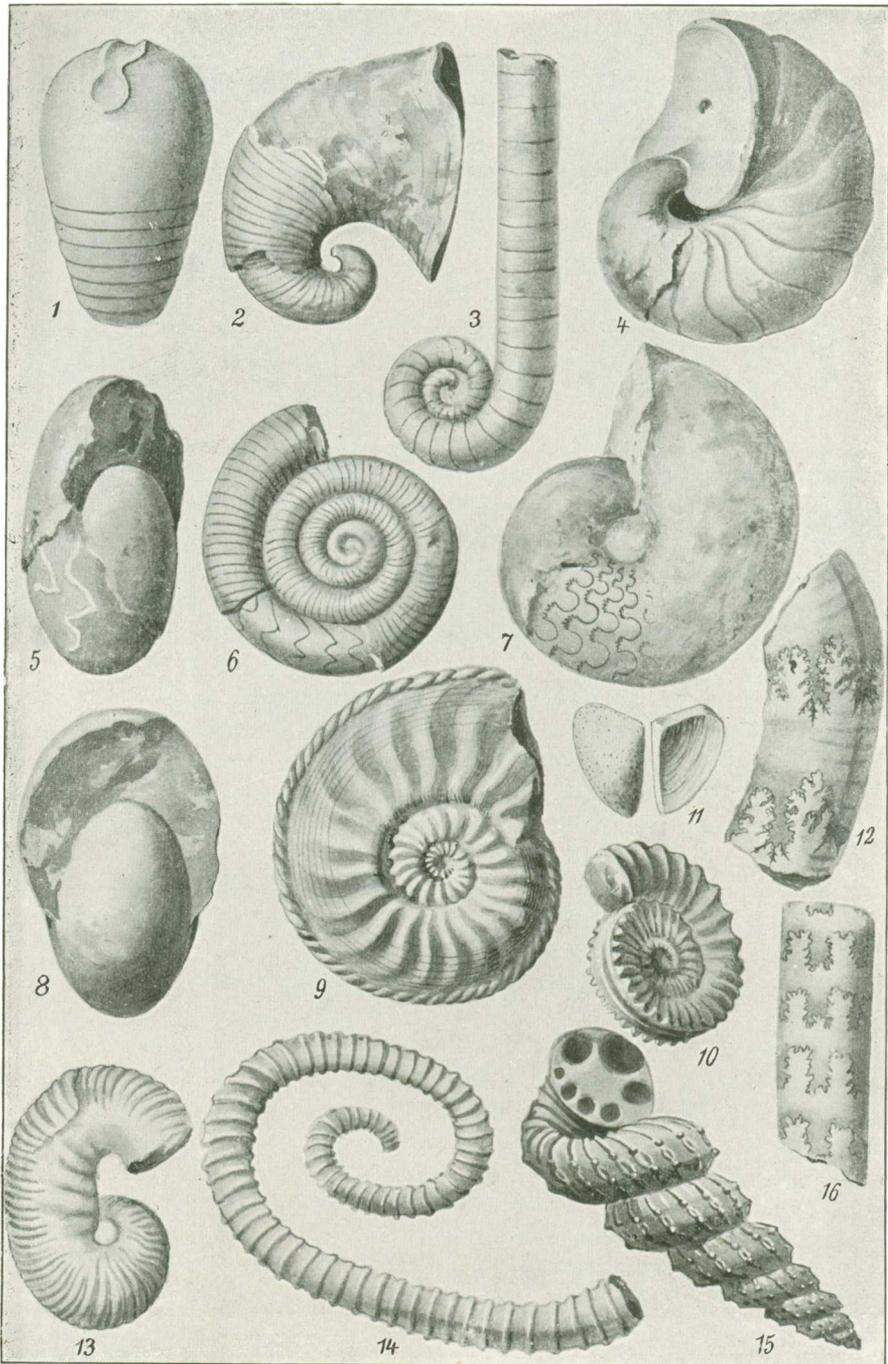
I. Nautiloidea.

1. *Gomphoceras amphora*. $\frac{1}{2}$. Obersilur, Böhmen. Gestreckt, Querschnitt kreisrund, Mündung verengt
2. *Phragmoceras Loveni*. $\frac{1}{3}$. Silur, Böhmen. Verengte T-förmige Mündung.
3. *Lituites convolvens*. $\frac{1}{3}$. Untersilur, Reval. Wie Krummstab. Wohnkammer fehlt hier.
4. *Nautilus radiatus*. $\frac{1}{3}$. Cenoman. Gehäuse spiralig, Suturen schwach geschweift, Siphon in der Mitte sichtbar.

II. Ammonoidea.

5. *Goniatites subbilobatus*. $\frac{2}{3}$. Oberdevon, Vogtland. Gehäuse spiralig, Umgänge teilweise umfassend, Lobenlinie winkelig gebogen.
6. *Clymenia undulata*. $\frac{1}{1}$. Oberdevon, Fichtelgebirge. Umgänge alle sichtbar, Suture geknickt, Schale fein gestreift.
7. *Ceratites semipartitus*. $\frac{1}{4}$. Muschelkalk (nach Philippi). Sättel glatt, Loben gekerbt.
8. *Arcestes cinereus*. $\frac{1}{3}$. Alpine Trias, Hallstatt. Aufgeblasen, Umgänge umfassend, baumförmige Suture nicht sichtbar.
9. *Amaltheus margaritatus*. $\frac{1}{1}$. Lias, Württemberg. Zopfartig gedrehte Kiellinie, äußerer Umgang sichelförmig gerippt.
10. *Arietites latisulcatus*. $\frac{1}{2}$. Lias, Württemberg. Scheibenförmig, Kiel mit 2 Furchen.
11. *Aptychus laevis*. $\frac{1}{2}$. Jura, Solnhofen. Paarige Verschlußstücke einer Ammonitenwohnkammer. Links gekörnelte Ober-, rechts gestreifte Unterseite.
12. *Perisphinctes*. $\frac{2}{3}$. Dogger, Württemberg. Bruchstück eines Steinkerns mit stark verzweigter Lobenlinie.
13. *Scaphites Geinitzi*. $\frac{1}{1}$. Plänerkalk, Strehlen. Letzter Umgang abgelöst, Oberfläche gerippt.
14. *Ancyloceras bipunctum*. $\frac{1}{3}$. Senon, Hannover. (Nach Palaeontographica, 21. Bd.)
15. *Turrilites catenatus*. $\frac{1}{3}$. Unt. Kreide, Frankreich. (Nach D'Orbigny.) Turmförmig, an der Öffnung ein gekräuselttes Septum sichtbar.
16. *Baculites ovatus*. $\frac{1}{2}$. Kreide, Dakota. Stabförmig, ellipt. Querschnitt, stark zerschlitzte Suture.

Die Zeichnungen sind, — wo nicht andere Quelle angegeben ist, — nach Originalen des Dresdener Kgl. Mineralogischen Museums angefertigt.



Beschalte Kopffüßer.

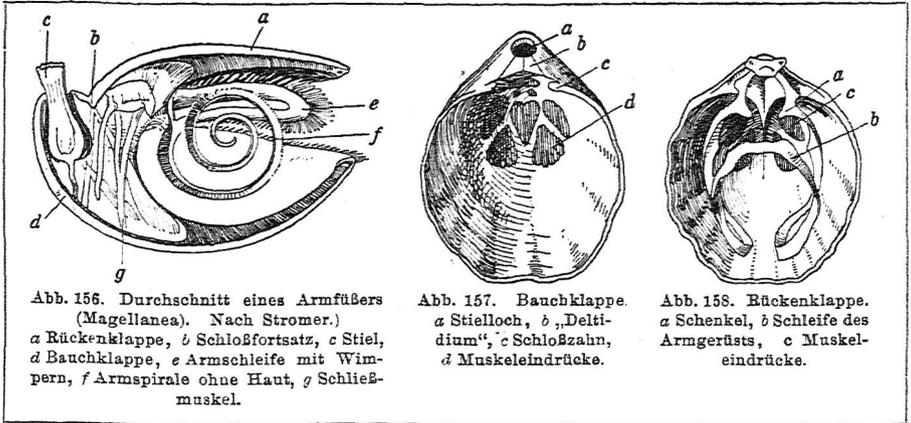


Abb. 156. Durchschnitt eines Armfüßers (Magellanea). Nach Stromer.)
 a Rückenklappe, b Schloßfortsatz, c Stiel, d Bauchklappe, e Armschleife mit Wimpern, f Armspirale ohne Haut, g Schließmuskel.

Abb. 157. Bauchklappe.
 a Stielloch, b „Deltidium“, c Schloßzahn, d Muskeleindrücke.

Abb. 158. Rückenklappe.
 a Schenkel, b Schleife des Armgerüsts, c Muskeleindrücke.

dem Meere an. Die *pflanzlichen* Überbleibsel sind gering: fragliche Gebilde, die an Seetang erinnern, ein wenig Kohle sind die einzigen Spuren. Auch die *Fauna* ist noch nicht sehr reich, obgleich schon fast 1000 Arten gefunden worden sind. Aber es ist auffällig, daß neben den niedersten Tieren bereits recht hoch organisierte Formen auftreten, wenn auch Wirbeltiere noch fehlen. Wir greifen nur drei Gruppen als besonders wichtig raus.

1. *Urtiere*. Ein Klümpchen Urschleim (Protoplasma) bildet den Körper dieser tiefstehenden Lebewesen. Neben den völlig nackten, formlosen „Wechseltierchen“ treten Urtiere auf, die durch ein Kalkgehäuse geschützt sind. Zahlreiche Löcher in demselben gestatten den schleimigen „Scheinfüßchen“ (Pseudopodien) den Durchtritt, daher der Name Foraminiferen oder Lochträger (Abb. 7, 31). Bei anderen Formen scheidet das Protoplasma ein Stützgerüst aus Kieselsäure ab, das oft die zierlichsten Sternformen bildet (Radiolarien, Abb. 7). Wasserhelle Kieselskelette von Radiolarien treten bereits in den kambrischen Kieselschiefern reichlich auf (vgl. auch Abb. 165).

2. *Armfüßer, Brachiopoden* (brachion = Arm, pūs, podós = Fuß). Zweischalige Meeresbewohner, die in ihrem Aussehen an die Muscheln erinnern, in ihrer Entwicklung aber den Würmern näherstehen. Sie besitzen eine Rückenschale oder -klappe und eine bei vielen Arten größere Bauchklappe, die oft schnabelartig übergreift. An dem Schnabel ist eine Öffnung für die austretende Haftenrichtung. Die Eingeweide des Tieres liegen nahe jener Öffnung; der größere Teil des Schalenraumes wird von zwei spiralgig aufgerollten, fleischigen und mit Wimpern besetzten „Mundarmen“ ausgefüllt, die zum Atmen und zum Herbeistrudeln der Nahrung dienen. Sie werden gestützt durch überaus zierliche, kalkige „Armgerüste“, die bald Schleifen-, bald Spiralenform annehmen. Einen Einblick in den Bau dieser Tiere, die früher dieselbe Rolle in den Meeren spielten wie heute die Muscheln, gewähren die Bilder einer gegenwärtig noch lebenden („rezenten“ lat. *reçens* =

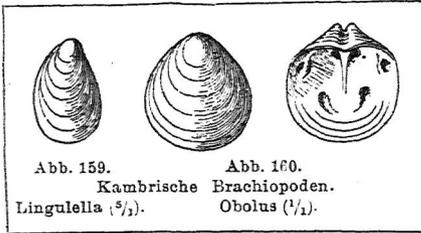


Abb. 159. Kambrische Brachiopoden.
Lingulella ($\frac{2}{3}$).
Abb. 160. Obolus ($\frac{1}{4}$).

neu) Art: Abb. 156—158. Die ältesten Brachiopoden waren meist kleine Formen mit hornigkalkiger Schale und ohne Schloß, wie die Gattungen Lingulella und Obolus (Abb. 159—158).

3. *Trilobiten* (gr. tri = drei, lobós = Lappen). Diese krebisähnlichen Tiere verdanken ihren Namen der doppelten Drei-

teilung (Abb. 161) in Kopf-, Rumpf- und Schwanzstück, sowie in einen Mittel- und zwei Seitenteile. Der Kopf kann Augen tragen; der feste Rumpfschild ist gegliedert; an den Seiten sitzen bisweilen stachelige Anhängsel. Die überaus selten erhaltene Bauchseite (Abb. 162) zeigt auf dünner Haut zahlreiche, zweiteilige Fußpaare. Der Kopf trägt Kieferfüße und zwei Fühler. Eine der ältesten kambrischen Arten ist der *Paradoxides bohemicus* (Abb. 161). Wichtige Leitfossilien sind *Olenus* (Abb. 163), und der winzige *Agnostus* (Abb. 164), der sich wie eine Muschel zusammenklappen konnte. Aus dem Mangel an wohlausgebildeten Augen bei den kambrischen Trilobiten hat man auf ein Leben im Schlamm seichter Meeresteile geschlossen.

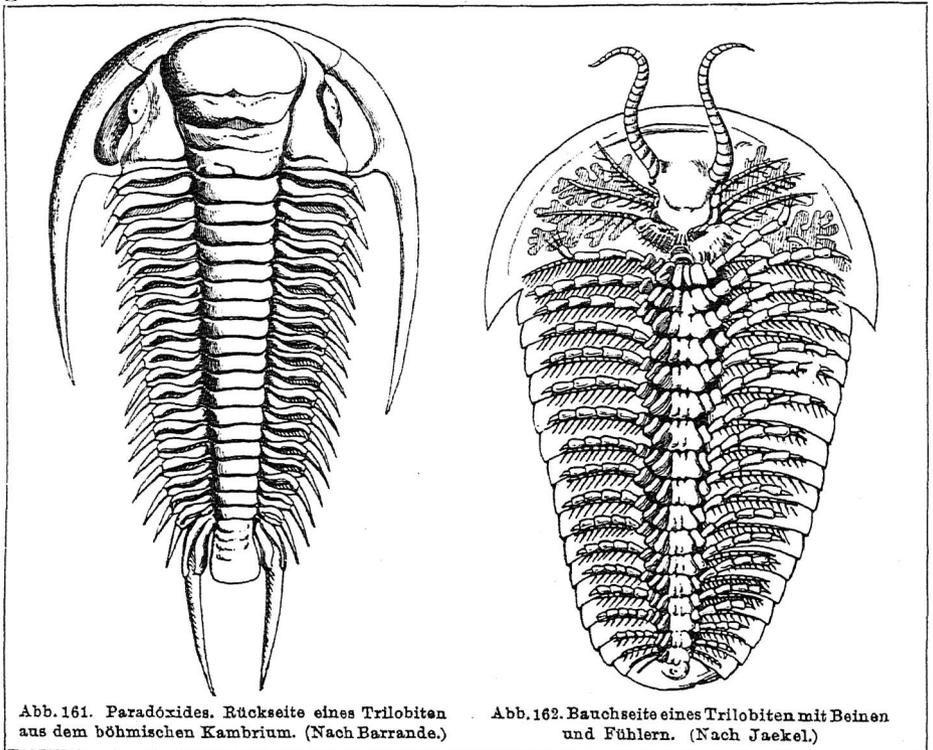


Abb. 161. *Paradoxides*. Rückseite eines Trilobiten aus dem böhmischen Kambrium. (Nach Barrande.)

Abb. 162. Bauchseite eines Trilobiten mit Beinen und Fühlern. (Nach Jaekel.)

Präkambrium. Man hat neuerdings Schichten von Sandstein, Quarzit, Konglomeraten gefunden, die noch älter als das Kambrium sind und ebenfalls spärliche Fossilien enthalten (Urtiere, Schwämme); z. B. in der Bretagne, Schweden, Nordamerika. Es wird deshalb von vielen Forschern vorgeschlagen, im Altertum der Erde noch eine besondere „präkambrische Periode“ (lat. prae = vor) zu unterscheiden.

139. Silur.¹⁾ In dem tiefer und ausgedehnter gewordenen Silurmeere lagerten sich ähnliche Gesteine ab wie im Kambrium. Aber weit häufiger als damals wurde die ruhige Sedimentation unterbrochen durch gewaltige vulkanische Deckenergüsse, die uns meist als Diabase erhalten sind.

Das *Tierleben* erreichte eine erstaunliche Blüte; eine Fülle von Formen und Individuen bevölkerte das Meer. Neben Urtieren (Abb. 165), Muscheln, Schnecken, Brachiopoden (Abb. 166) finden wir nicht weniger als 1300 Trilobitenarten. Zwei wesentliche Merkmale zeichnen aber die silurischen Trilobiten vor den meisten kambrischen aus: einmal die großen, beweglich angebrachten Facettenaugen und dann die Fähigkeit des Körpers, sich durch Einrollen gegen Feinde zu schützen (Abb. 167).

Folgende Tiergruppen, die erst vom Silur an reichlich auftreten, bedürfen noch einer näheren Erläuterung:

1. *Schwämme.* Größere vierzellige Schleimmassen, die zu ihrer Stütze ein Skelett aus Kiesel, Kalk oder Horn besitzen. Feine Nadeln in der Gestalt von Haken, Ankern, Klammern setzen die Skelette zusammen (vgl. Badeschwamm). Von den drei Klassen der Kiesel-, Kalk- und Hornschwämme treten im Silur — vereinzelt schon im oberen Kambrium — nur die ersteren, plumpe *Steinschwämme*, auf (Abb. 168).

2. *Korallentiere.* Unsere riffbildenden Korallen (Abb. 227) sind Kolonien von Polypentierchen, die sich ein Kalkgerüst bauen. Dasselbe besteht

1) Silurer = alter Volksstamm in England.

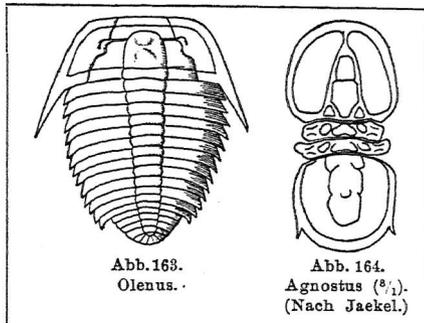


Abb. 163.
Olenus.

Abb. 164.
Agnostus (1/2).
(Nach Jaekel.)

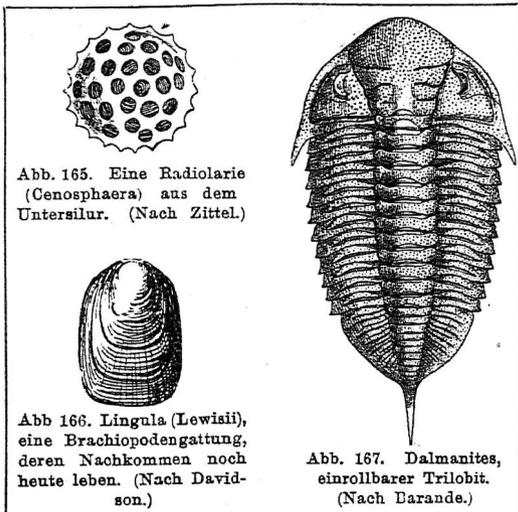
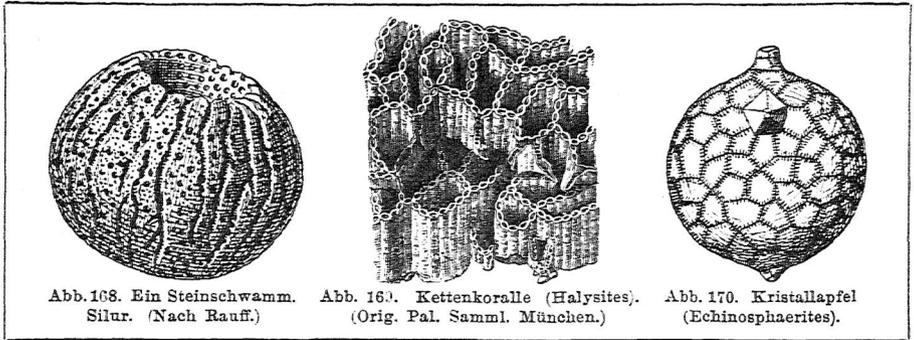


Abb. 165. Eine Radiolarie
(Cenosphaera) aus dem
Untersilur. (Nach Zittel.)

Abb. 166. Lingula (Lewisii),
eine Brachiopodengattung,
deren Nachkommen noch
heute leben. (Nach David-
son.)

Abb. 167. Dalmanites,
einrollbarer Trilobit.
(Nach Barande.)



in der Hauptsache aus einer Grundplatte, einem Zylinder und strahlig angeordneten Scheidewänden; in den älteren Teilen des Korallenstocks treten zur besseren Stütze noch Querböden im Zylinder auf. Die Zahl der Scheidewände ist meist durch *sechs* teilbar. Die Korallen des Altertums sind etwas abweichend gebaut. Sie haben Scheidewände, deren Zahl durch *vier* teilbar ist, oder nur *Querböden*, wie die Kettenkorallen (Abb. 169). Es kommen sowohl Einzelkorallen als auch Stöcke vor.

3. *Graptolithen* (gr. gráphein = schreiben, lithos = Stein). Auf den Kluftflächen dunkler Silurschiefer, seltener auch im Kambrium, findet man zarte, kohlige Häutchen, wie Stücke einer Laubsäge oder spiralig wie Uhrfedern (Abb. 171), die man sehr verschieden gedeutet hat. Es sind die Überreste polypenähnlicher Tierkolonien. In dichten Rasen wuchsen diese auf dem schlammigen Boden, auf Felsblöcken des seichten Meeres, oder sie hefteten sich an Seetang und wurden mit den abgerissenen Stücken weit hinaus in die Hochsee verfrachtet. Andere Arten waren ganz dem Leben im offenen Meere angepaßt. Eine Luftblase hielt dann die Kolonie schwebend. Unter dieser standen quirlförmig einige Kugeln, gefüllt mit kleinen, dolchähnlichen Gebilden, den Keimlingen neuer Tiere. Einige hornartige, elastische Fäden trugen die reihenweise angeordneten Polypen, von denen jeder eine hornige Kapsel besaß (Abb. 172). Manche Formen hatten zur Stütze der Kolonie eine Achse, andere waren ohne diese; bei letzteren hingen die Leibsräume der Einzelpolypen durch einen inneren Verbindungskanal zusammen.

4. *Stachelhäuter*. Die ältesten Verwandten unserer Seeigel zeigen noch nicht die regelmäßig strahlige Anordnung der Panzerplatten, aber doch schon eine ähnliche Gestalt. Die von den Steinbrechern als „Kristalläpfel“ (Abb. 170) bezeichneten Kugeln haben z. B. unregelmäßige Kalkplatten, unten einen Stielansatz, oben einen halsartig ausgezogenen Mund, darunter die fünfklaippige Afteröffnung.

5. *Würmer*. Man findet bisweilen eigentümlich gewundene Eindrücke auf Steinplatten, die man als Kriechspuren von Würmern deutet. Sicherer be-

stimbar sind kleine Zähnen, die als Kiefern von Borstenwürmern erkannt worden sind (Abb. 173).

6. *Kopffüßer, Cephalopoden* (gr. kephalé = Kopf).

Diese hochentwickelten Weichtiere besitzen wie die Schnecken eine Hautverdoppelung, den Mantel. Um die Mundöffnung stehen eine Anzahl Fangarme; die Augen sind recht vollkommen ausgebildet. Manche Gattungen sind äußerlich nackt, werden aber immer durch einen Rückenschulp (Sepia) gestützt (Abb. 214),

wie unsere Tintenfische. Andere besitzen eine Art Schneckenhaus, wie das Schiffsboot (Abb. 174). Nur der vordere Teil des Gehäuses dient als „Wohnkammer“. Dahinter liegen zahlreiche Luftkammern, getrennt durch uhrglasähnlich gewölbte Scheidewände (Septen). Ein darmartiger Kanal (Sipho) führt vom Körper des Tieres durch die Septen nach den einzelnen Luftkammern.

Über 2000 verschiedene Verwandte dieses Nautilus lebten bereits im Silur, einzelne schon im Kambrium. Aber ihre Gehäuse waren nicht zusammengerollt, sondern entweder ganz gestreckt, wie das Geradhorn (Orthoceras, Abb. 175), oder schwach gebogen (Abb. 176), birnförmig, krummstabähnlich usw. (Tafel IV, 1—3). Die Kammern sind bei den versteinerten Exemplaren oft (z. B. durch Kalk) ausgefüllt, so daß man einen Steinkern erhält (Abb. 175).

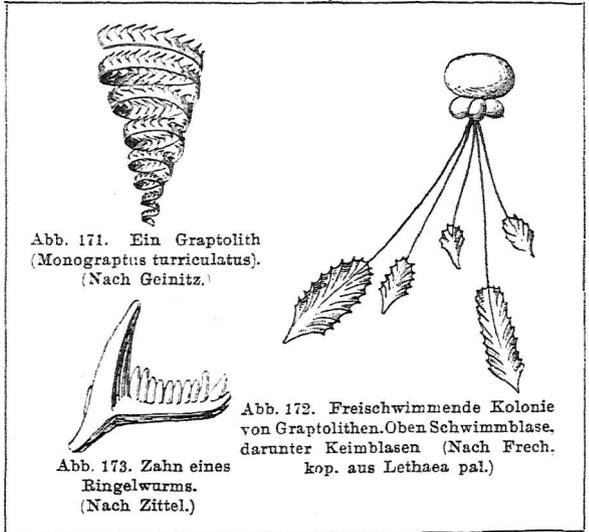


Abb. 171. Ein Graptolith (Monograptus turriculatus). (Nach Geinitz.)

Abb. 172. Freischwimmende Kolonie von Graptolithen. Oben Schwimmblase, darunter Keimblasen (Nach Frech kop. aus Lethaea pal.)

Abb. 173. Zahn eines Ringelwurms. (Nach Zittel.)

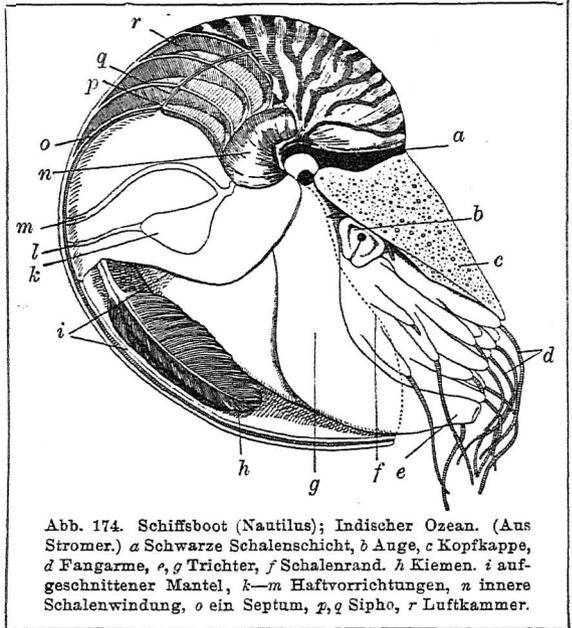


Abb. 174. Schiffsboot (Nautilus); Indischer Ozean. (Aus Stromer.) a Schwarze Schalenschicht, b Auge, c Kopfkappe, d Fangarme, e, f Trichter, g Schalenrand, h Kiemen, i aufgeschnittener Mantel, k—m Haftvorrichtungen, n innere Schalenwindung, o ein Septum, p, q Sipho, r Luftkammer.

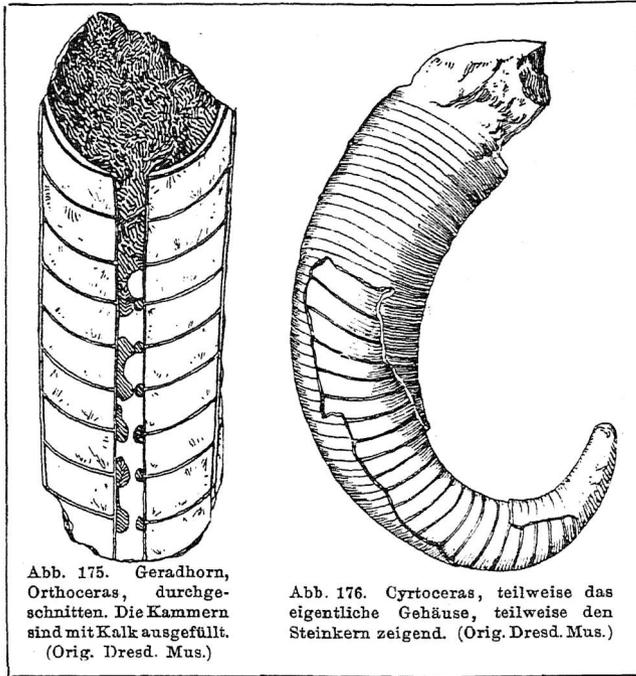


Abb. 175. Geradhorn, Orthoceras, durchgeschnitten. Die Kammern sind mit Kalk ausgefüllt. (Orig. Dresd. Mus.)

Abb. 176. Cyrtoceras, teilweise das eigentliche Gehäuse, teilweise den Steinkern zeigend. (Orig. Dresd. Mus.)

7. Gliederfüßer.

Als große Seltenheiten und als einzige Landbewohner treten Skorpione und Vetter unserer Küchenschabe auf.

8. Fische. Ebenso vereinzelt sind im Silur noch die Fische, und zwar in Formen, die von den heutigen stark abweichen. (Vgl. Devon!)

Die wichtigsten Gebiete mit kambrischen und silurischen Schichten sind für uns das Fichtelgebirge, Erzgebirge, Vogtland, Ostthüringen, Nord-sachsen, Mittelböhmen.

Devon¹⁾.

140. Neben Sandsteinen, Quarziten, Konglomeraten, Grauwacken, Tonschiefern treten reichlicher Kalksteine auf, oft in ungeschichteten *Korallenriffen*, die durch Verwitterung malerische, schroffe Felsformen ergeben (Eifel). Reichliche Ergüsse von Diabas und Porphyry unterbrechen die Sedimentbildung. Etwas häufiger als im Obersilur begegnen wir den Spuren von *Landpflanzen*, die sämtlich zu den niederen Pflanzen (Kryptogamen) und zu Verwandten unserer Nadelhölzer (Koniferen) gehören (vgl. 141). Unter den Tieren sind die Graptolithen ausgestorben; Trilobiten haben stark abgenommen. Dagegen sind noch sehr häufig die Armfüßer (Abb. 177), Riff- und Einzelkorallen, z. B. die gedeckelte Pantoffelkoralle (Abb. 178). Charakteristisch sind die Verwandten unserer Seesterne, die gestielten *Seelilien* (Abb. 179), deren Krone aus einem getäfelten Kelch und breiten Armen besteht. Zu den Nautilusarten gesellen sich die nahe verwandten *Ammonshörner*, die hier allerdings nur in sehr einfachen Formen — eigentlich nur in ihren Vorläufern — vorhanden sind (Abb. 181 und Tafel IV, 5—6). Ihre Unterscheidungsmerkmale sind: nach außen gekrümmte Kammerscheidewände, deren Anwachslinie (Sutur) gelappt erscheint; der darmförmige

1) Nach der engl. Grafschaft Devonshire.

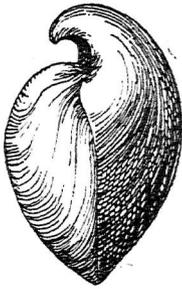


Abb. 177. Armfüßer mit stark vorspringender Unterschale (Stringocephalus Burtini) aus dem Devon. (Z. T. nach Zittel.)



Abb. 178. Pantoffelkoralle (Calceola sandalina) mit Deckel. (Nach Toula.)

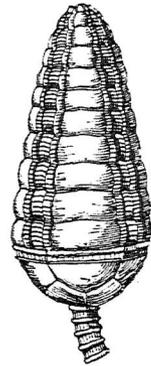


Abb. 179. Seelilie (Cupressocrinus.) (Nach Toula.)

Anhang am Eingeweidesack verläuft nahe dem Außenrande des Gehäuses. Die *Fische* spielen bereits eine große Rolle; aber nur solche mit knorpeligem Rückgrat, bedeckt entweder mit nebeneinander liegenden, glänzenden Schmelzschuppen (*Schmelzschupper*, vgl. Stör und Abb. 197) oder mit größeren *Panzerplatten*, wie der merkwürdige Flügelfisch (Pterichthys) (Abb. 180) mit seinen großen Ruderflossen, oder mit zahnartigen rauhen Schuppen, wie unsere Haie.

Fast das ganze Rheinische Schiefergebirge, große Teile des Harzes (mit den alten Silbererzgruben) und das Vogtland bestehen aus Devon-schichten.

Karbon.

141. Die Karbon- oder *Steinkohlenperiode* (lat. *carbo* = Kohle) ist nicht nur volkswirtschaftlich, sondern auch geologisch eines der wichtigsten Zeitalter in der Erdgeschichte, und zwar wegen der großartigen *gebirgsbildenden Vorgänge*, die sich damals abspielten. Während zu Beginn der Periode noch weite Teile Europas von einem Meere bedeckt waren, in dem sich große Urtiere, Korallen, Muscheln, Seelilien, sowie Brachiopoden (Abb. 182—186) in großer Menge aufhielten (Ablagerungen des *unteren Kohlenkalks*) und nur kleinere Teile einförmige Landflächen bildeten (Schichten des *Kohlenculm*), begann in der Mitte des Zeitalters ein *Auftauchen der Landmassen*, verbunden mit Faltenbildungen. Die am stärksten gefalteten Teile türmten sich zu langgestreckten, hohen

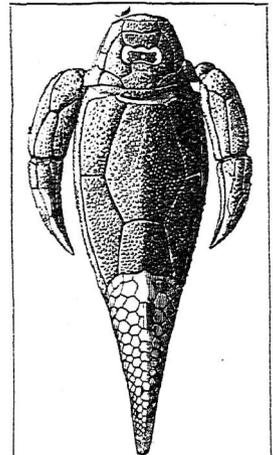


Abb. 180. Rückenseite eines Flügelfisches (Pterichthys). (Orig. Dresd. Mus., z. T. nach Neumayr.)

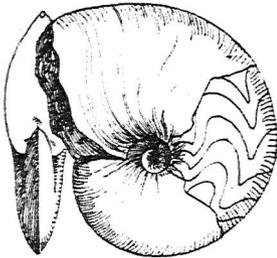


Abb. 181. Ein Vorläufer der Ammonshörner (Goniatites) mit gezackter Suture. (Nach Toula.)

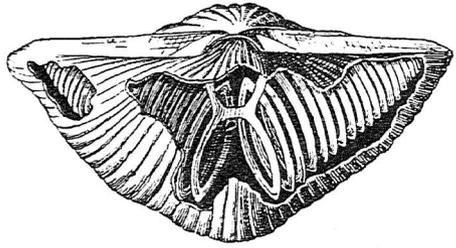


Abb. 182. Brachiopod (Spirifer aus dem Kohlenkalk), zeigt unter der durchbrochenen Rückenklappe das Armgerüst. (Nach Davidson.)

(wenn auch nicht alpinen) Gebirgen auf. Diese *Faltengebirge* durchzogen in Form eines \vee West- und Mitteleuropa von Cornwall bis zu den Sudeten, und unsere deutschen Mittelgebirge verdanken ihre erste Anlage zum guten Teile jener Periode (vgl. Karte Abb. 187). Eine Folge der Druckveränderung innerhalb der Erdrinde war das Aufsteigen großer Granitmengen in der Form von Lakkolithen. Die Granite des westlichen Erzgebirges, der mittelsächsische Granulit, ebenso die thüringischen Granite sind nach der Hauptfaltung emporgedrungen. Gleichzeitig mit der Auftürmung begann die Abtragung der Gebirge. Zahlreiche Flüsse schleppten Steine, Sand und Schlamm von ihnen herab; weite *Schwemmlandebenen*, Küstentiefländer, sumpfige Deltabildungen entstanden infolgedessen.

Dort war der Schauplatz jener üppigen *Pflanzenwelt*, deren verkohlte Reste jetzt wieder ans Tageslicht gefördert werden. Große Luftfeuchtigkeit, Regenreichtum, eine dauernd gleichmäßige Wärme ohne kalte Winter beförderte das Wachstum. Verwandte unserer Bärlappgewächse (Lycopodium),

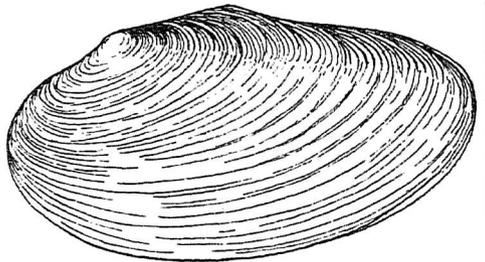


Abb. 183, 184.

Abb. 185.

Abb. 186.

Abb. 183—186. Versteinerungen aus dem Unterkarbon.

183: *Fusulina cylindrica* $\frac{1}{3}$, eine weizenkorngroße Foraminifere, von vorn und von der Seite. 184: *Pentremites Godoni*, ein Knospenstrahler, den Seelilien verwandt. 185: *Zaphrentis Dalei*, Einzelkoralle, Hauptseptum in tiefer Furche. 186: *Posidonia Becheri*, papierdünne Muschel.

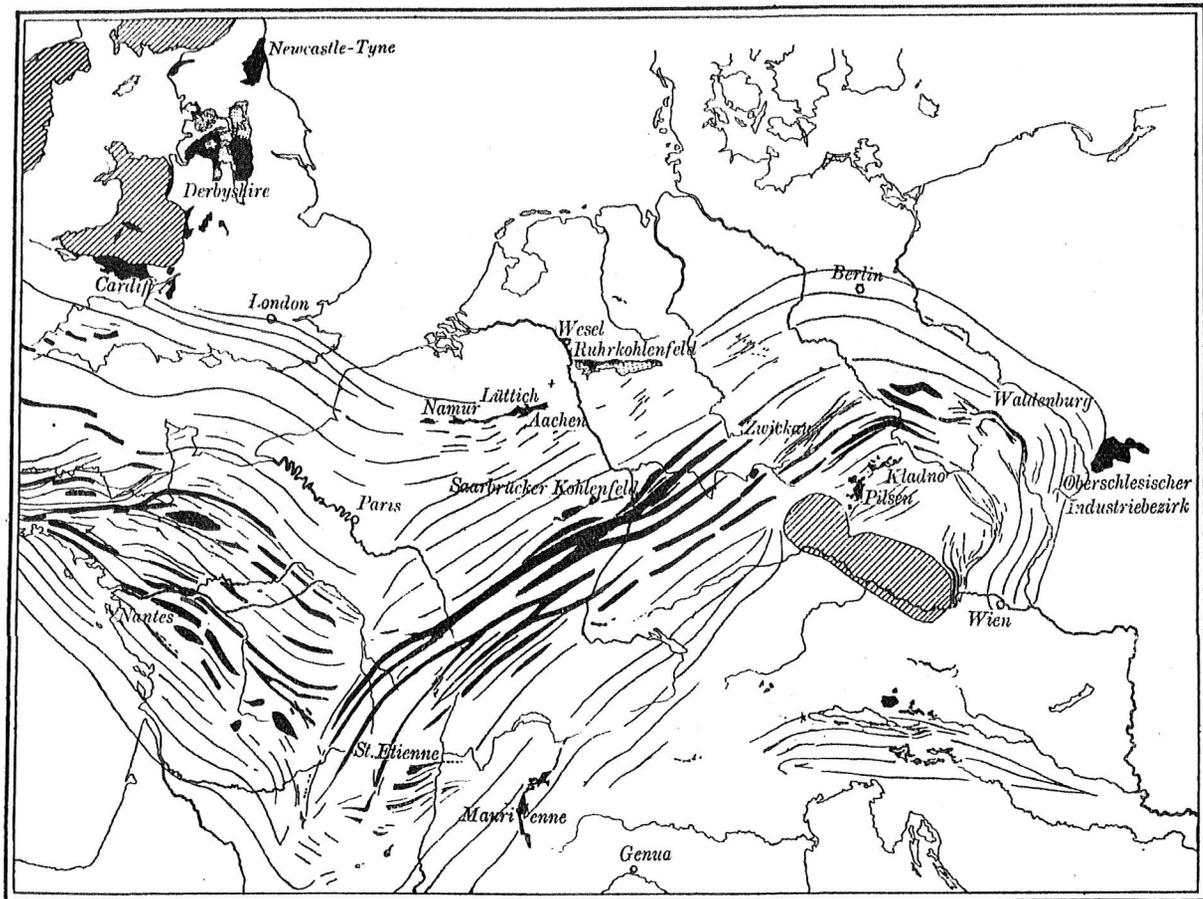


Abb. 187. Die Kohlenfelder und Faltengebirge Mitteleuropas nach Schluß der Karbonzeit. (Nach Frech.)

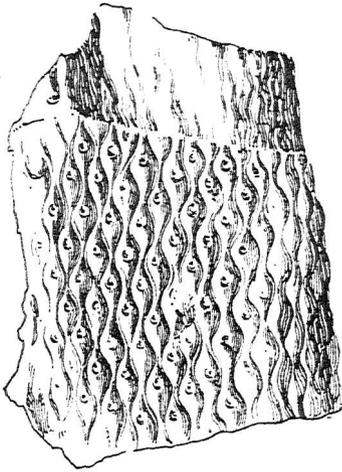


Abb. 188. Schuppenbaum (*Lepidodendron dichotomum*). (Nach Geinitz.)

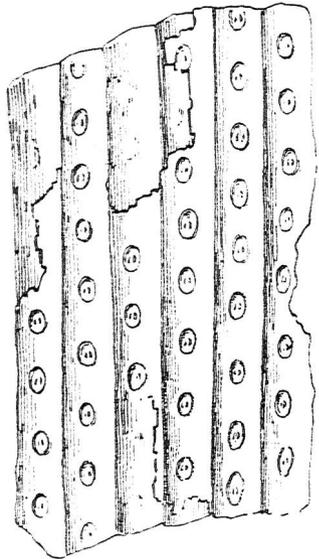


Abb. 189. Siegelbaum (*Sigillaria Cortei*). (Nach Geinitz.)

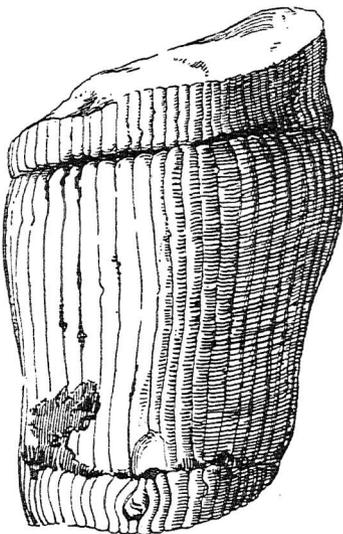


Abb. 190. Schachtelhalm (*Calamites*).
Innere Ausfüllung des hohlen Stengels,
nur links unten verkohlte Pflanzenteile.
(Nach Geinitz.)

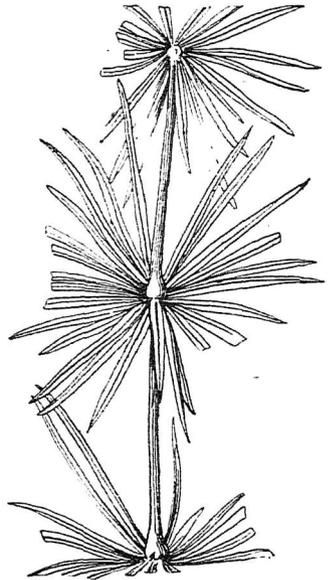


Abb. 191. *Annularia longifolia*.
(Nach Geinitz.)

die hohen, gabelförmig verästelten *Schuppenbäume* (Lepidodendron Abb. 188), *Siegelbäume* (Sigillaria, Abb. 189) mit scharf ausgeprägten Blattnarben bildeten weite, einförmige Waldungen. *Schachtelhalme* (Calamites, Abb. 190) mit hohlem, geripptem Stamm und quirlförmig gestellten Ästen bevorzugten die Sümpfe; kleinere Kryptogamen schwammen auf der Wasseroberfläche einsamer Tümpel (Abb. 193); *Farne* bildeten kleine Bäume oder kletterten in Spiralen an den Bärlappstämmen empor. Auch *nachtsamige Bäume*, also Verwandte unserer Nadelhölzer, kamen vor. *Waldmoore* oder *gemischte Feuchtwälder* waren das Kennzeichen der Steinkohlenzeit.

Ein ärmliches *Tierleben* tritt uns in jenen einsamen, blumenlosen Wäldern entgegen: Skorpione, Schaben, Spinnen, Tausendfüßer, Heuschrecken, Landschnecken. Am Ufer der Seen tummelten sich die *ersten* — *wenigstens zeitweise* — *Luftatmenden Wirbeltiere*, Verwandte unserer Molche (also Amphibien), die aber in verschiedener Beziehung auch den Reptilien, z. B. Eidechsen oder Krokodilen ähneln. Es sind die *Dachschädel* (Stegocephalen), die bald Krokodilgröße erreichen, bald nur wie zierliche Molche aussehen (Abb. 196). Der Kopf ist dreieckig, die Rippen sind kurz wie bei den Fröschen; die Bauchseite ist mit dachziegelähnlichen Schuppen bedeckt.

Die großen europäischen Steinkohlenlager (52) befinden sich alle in der Nähe der alten Faltengebirge (Abb. 187). Sie sind zum Teil mit gefaltet (vgl. Steinkohlenmulde von Saarbrücken, Abb. 192), zum Teil fast ungestört innerhalb der gebildeten Mulden abgelagert.

Dyas (Perm.)

142. Das nächste System zeigt in Mitteldeutschland eine so scharfe Scheidung in eine untere Abteilung von *Landbildungen* (*Rotliegendes*) und eine obere mit *Meeresablagerungen* (*Zechstein*), daß es darnach den Namen *Dyas* (= zwei-

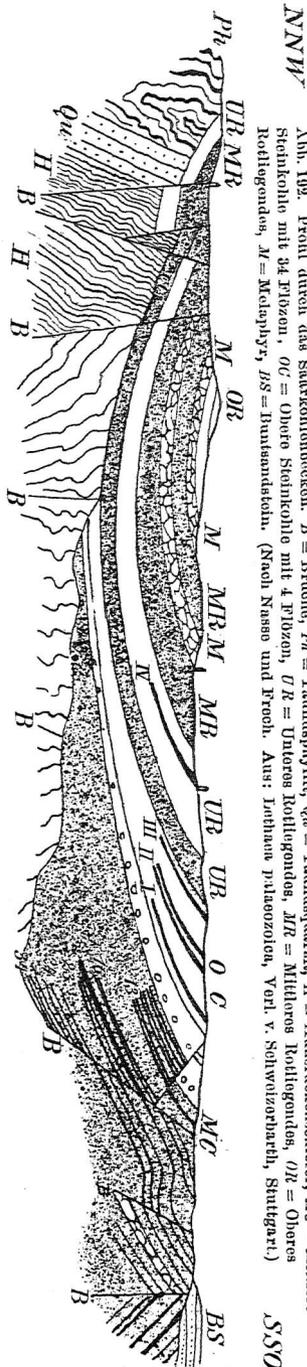
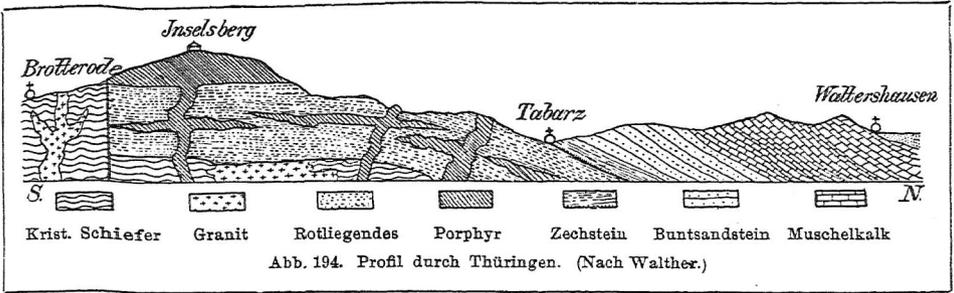


Abb. 192. Profil durch das Saar-Kohlenbecken. *H* = Hunsrück-schiefer, *Ph* = Tannuquartzit, *UR* = Unteres Rotliegendes, *M* = Mithras Rotliegendes, *OR* = Oberes Rotliegendes, *BS* = Bellerophon-schiefer. (Nach Naase und Troch. Ans. Juchacz paleozool., Vorl. v. Schwinzootharh, Stuttgart.)



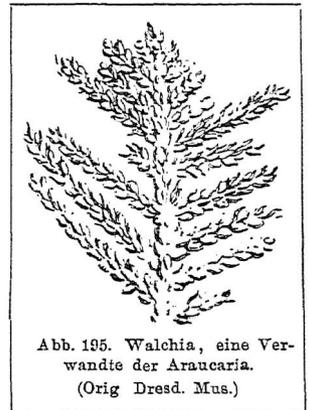
Abb. 193. Sumpfwald aus der Steinkohlzeit. Links Schuppenbaume und Farne, mitten Calamites, rechts Nacktsamer- und Sigelbäume. (Nach Potonié.)



geteilt) erhalten hat. Weil dies aber nur für ein kleines Gebiet zutreffend ist, hat man auch den Namen *Perm*, nach dem russischen Gouvernement gleichen Namens, eingeführt.

Im „Rotliegenden“ setzte sich die Abtragung der mitteldeutschen Alpen ungeschwächt fort. Überaus starke Regengüsse schwemmten große und kleine Trümmer abwärts. In den Trockenperioden setzte die Sonnenhitze das Werk der Zerstörung fort und erzeugte einen Verwitterungslehm von eigentümlich ziegelroter Farbe, wie er auch heute in heißen Ländern unter dem Namen *Laterit* (lat. later = Ziegelstein) weit verbreitet ist. So entstanden gewaltige Schichten von *Konglomeraten* mit rotem Bindemittel, rote tonige Sandsteine und Schiefer in fortwährendem Wechsel. Als eine weitere Folge der gebirgsbildenden Vorgänge brachen große Massen von Lava hervor, ergossen sich in „Quellkuppen“ oder ausgedehnten *Decken von Porphyr* (Abb. 90), *Porphyrit*, *Melaphyr* oder *Pechstein*. Diese Eruptionen müssen durch reichliches Auftreten von Wasserdämpfen im Magma unterstützt worden sein; denn große Teile desselben wurden in Form von Asche und Bomben hochgeschleudert, zu Schuttkegeln aufgetürmt, von Wind und Wasser breit getragen und schließlich zu vulkanischem *Tuff* verkittet. Ganze Deckensysteme von Eruptivgesteinen und Tuffen der Rotliegendenzeit finden wir in Westsachsen (Chemnitz, Rochlitz, Grimma, Meißen) und Thüringen (Abb. 194).

Die *Pflanzenwelt* hatte im allgemeinen noch den Charakter der Steinkohlenzeit und ist uns auch teilweise in Form von Kohle erhalten geblieben (Döhlener Becken bei Dresden). Bärlappgewächse traten zurück; zu den Schachtelhalmern gesellten sich *Nadelbäume*, die verwandt mit unserer „Zimmertanne“ (*Araucaria*) waren (z. B. *Walchia*, Abb. 195). An manchen Stellen, z. B. bei Chemnitz, sind die gewaltigen Araukariestämme nicht verkohlt, sondern völlig von *Kieselsäure* (jedenfalls aus den Tuffen) durchtränkt. Ebenso „versteinert“ sind die Stämme mancher *Baumfarne* (*Psaronius*, „Starsteine“) (Abb. 48) mit den



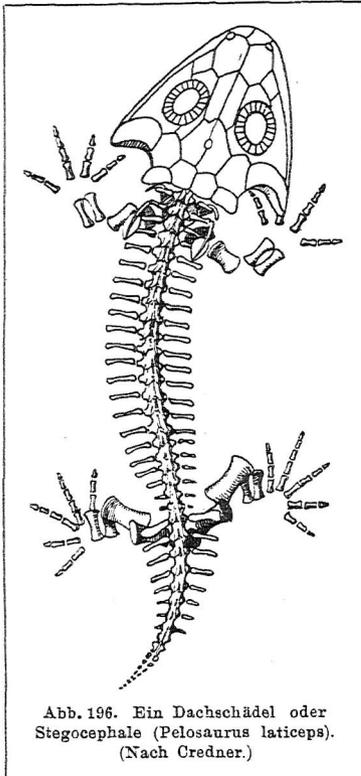


Abb. 196. Ein Dachschädel oder Stegocephale (*Pelosaurus laticeps*).
(Nach Credner.)

wohlerhaltenen Gefäßbündeln, sowie Verwandte der bei Begräbnissen oft verwendeten *Palmenfarne* (*Cycas*).

In den flachen Tümpeln tummelten sich die *Dachschädel* (Abb. 196) und vor allem deren „Kaulquappen“. Aber auch *echte Reptilien* mit der Organisation unserer Eidechsen traten auf.

Während sich diese Ereignisse in Mitteleuropa abspielten, bedeckte ein tiefes Weltmeer den ganzen Osten und Süden Europas. Am Ende des Rotliegenden *senkte* sich der Boden Mitteldeutschlands. Das Meer drang unaufhaltsam überflutend vorwärts, bildete Buchten, drang in die Binnenseen und verzalzte diese, so daß die darin lebenden Fische zu Tausenden starben. So entstand an manchen Stellen eine dünne Lage von schwarzem Mergelschiefer mit zahlreichen Fischabdrücken (Abb. 197) und einem feinverteilten Kupfergehalt. Hierher gehört der berühmte Mansfelder *Kupferschiefer* (121). Immer tiefer wurde das Meer; *Korallenriffe* begleiteten seine Ufer; Kalk, der sog. *Zechstein*, setzte sich schichtenweise ab. Nach ihm wird die

zweite Hälfte der Dyas Zechsteinepoche genannt. Schließlich wurde aber dieser ganze Teil des Zechsteinmeeres vom großen permischen Ozean durch eine Barre abgeschnürt. Es entstand ein abflußloses *Binnenmeer*, dessen Uferlandschaften vom *Wüstenklima* beherrscht wurden. Das bewirkte eine energische Eindampfung des Wasserbeckens; Gips, Anhydrit, Steinsalz, Kalisalze schlugen sich in ungeheuren Massen nieder. So entstanden jene wertvollen *Salzlager* Norddeutschlands, die wir im Staßfurter Bergwerk kennen gelernt haben (30).

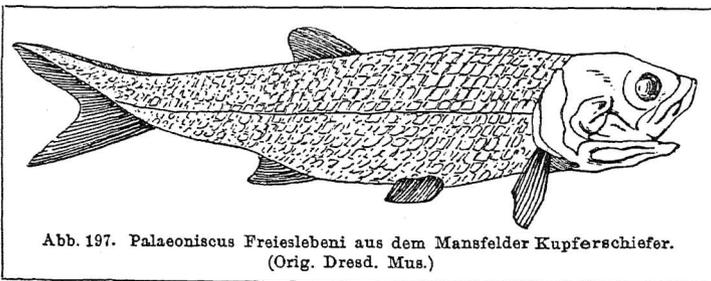


Abb. 197. *Palaeoniscus Freieslebeni* aus dem Mansfelder Kupferschiefer.
(Orig. Dresd. Mus.)

Mesozoisches Zeitalter.

Trias.

143. Wo heute die *Alpen* sich auftürmen, lag zur Triaszeit ein tiefes Meer, bevölkert von zahl-

losen Muscheln, Kiemenschnecken, Armfüßern und Ammonshörnern (Tafel IV, 8); *Korallen* bauten schroffe Riffe, und *kalkabscheidende Algen* halfen ihnen dabei. Die vielgestaltigen Berge der nördlichen Kalkalpen (Dachstein) (Abb. 38) und die Südtiroler Dolomiten (Schlern) entstammen jener Zeit. Eruptionen von Tiefengesteinen (Granit, Syenit) und Oberflächengesteinen (Porphy) fanden statt.

Ganz anders verlief die Periode in *Deutschland*; hier zeigt sie jene scharfe *Dreiteilung*, die ihr den Namen gegeben hat (Trias = Dreiheit), in 1. *Buntsandstein*, 2. *Muschelkalk*, 3. *Keuper*. Zunächst beherrschte einen großen Teil Deutschlands noch das heiße Wüstenklima der Zechsteinperiode; aber der Ozean machte zahlreiche Vorstöße, um das Land wiederzuerobern. Eingedampfte Binnenseen inmitten einer pflanzen- und tierarmen Sandgegend, flache Niederungen, die oft vom Meere überspült und wieder freigegeben wurden, waren ein Hauptmerkmal jener Zeit. So bildete sich ein roter oder weißlicher Sandstein, der bald durch seine Kreuzschichtung an Dünen erinnert, bald durch tonige Beimengungen, Trockenrisse oder erhabene Netzleisten an Strandbildungen. Ein plumpes fünfzehiges Tier, jedenfalls von Krokodilgestalt bevölkerte die Uferstreifen (Abb. 21). Dieser „*Buntsandstein*“ (Abb. 20) zeigt nur wenige Reste von Pflanzen, z. B. ein typisches Nadelholz (*Voltzia*, Abb. 198).

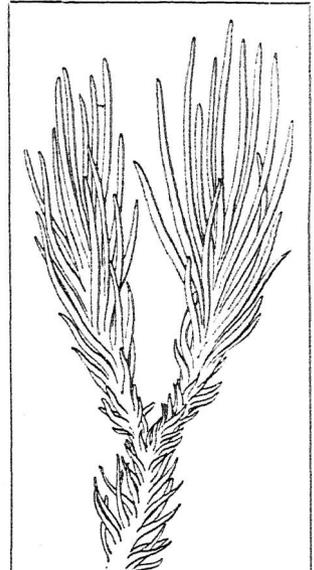


Abb. 198. Ein Nadelholz (*Voltzia heterophylla*) aus dem Buntsandstein. (Nach Goepfert.)

Schrittweise rückte das Meer in die Buntsandsteinlandschaft vor, erst nur Flachseen bildend, die gelegentlich wieder austrockneten oder zurückgingen und Gips nebst Steinsalz zurückließen, später tiefer werdend. Vor Süden wanderten zahlreiche Tierarten ein, so daß der abgesetzte Kalk bisweilen ganz vollgepfropft ist von Muschelschalen (z. B. *Gervillia socialis*, u. dgl. — daher der Name *Muschelkalk*. Die Armfüßer waren zwar artenarm (z. B. *Terebratula*, Abb. 199), aber reich an Individuen; unter den Ammonshörnern ist am bekanntesten der mit zahlreichen Buckeln versehene *Ceratites nodosus* (Abb. 201 u. Tafel IV, 7). Er zeigt noch eine verhältnismäßig einfache Anwachsline der Septen (Sutur); die nach vorn gerichteten Biegungen (Sättel) sind ganz glatt; nur die rückwärts gebogenen „Loben“ (= Lappen) zeigen eine feine Zähnelung. Wie überaus zierlich aber diese „Lobenlinie“ ausgebildet sein kann, das zeigt uns ein Beispiel aus der alpinen

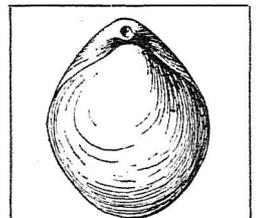


Abb. 199. *Terebratula vulgaris*, in Thüringen sehrhäufiger Armfüßer. (Orig. Dresd. Mus.)

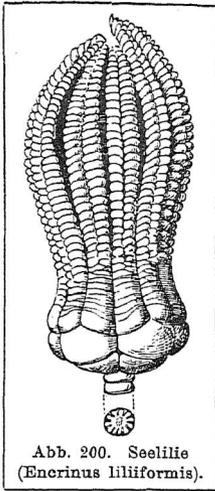


Abb. 200. Seelilie
(*Encrinurus liliiformis*).

Trias in Abb. 202. Besonders reichlich trat eine zierliche *Seelilie* (*Encrinurus liliiformis*, Abb. 200) auf, deren einzelne Stielglieder in Thüringen unter dem Namen Bonifaziuspfennige allgemein bekannt sind.

Die darauffolgende *Keuperzeit* (fränkische Bezeichnung) ist durch eine erneute Hebung in Deutschland ausgezeichnet. Palmenfarne und Nadelhölzer siedelten sich wieder auf den Festländern an und gaben bisweilen zur Bildung von Kohlen Anlaß. Leider ist diese durch Beimischung von eisenoxydreichem Ton oder Letten (*Lettenkohle*) und Schwefel unbrauchbar. Es scheint, als ob damals heftige Regengüsse mit Zeiten der Dürre gewechselt, als ob die Flüsse wie in Australien sich zeitweise in Seenketten zerlegt hätten. Denn man findet in den Schichten Reste jener merkwürdigen, heute noch in Australien vorkommenden Lurchfische, die in Zeiten der Trockenheit auch

im Schlamm leben können und dann zum Atmen ihre zellig geteilten, lungenähnlichen Schwimmblasen benutzen (*Ceratodus*). Zu den Ablagerungen gehören der feinkörnige, sehr quarzreiche Keupersandstein (Nürnberger Gegend), Mergel, roter Lettenton mit gelben und blauen Streifen, Steinsalz und Gips. In

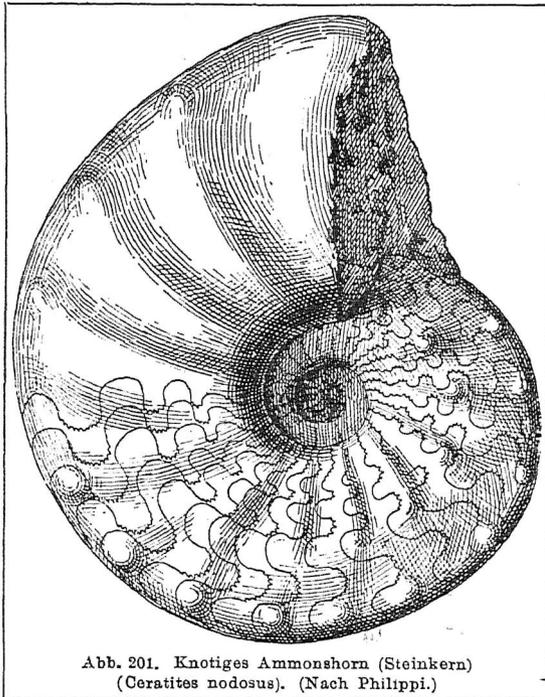


Abb. 201. Knotiges Ammonshorn (Steinkern)
(*Ceratites nodosus*). (Nach Philippi.)

den obersten Schichten haben sich manchmal tierische Reste zu einem richtigen Knochenkonglomerat (*Bonebed*) angehäuft, und in diesem fand man spärliche Zähne zweier Tiere, die man bisher als die ältesten Reste von Säugetieren ansah (Beuterratten oder fliegende Hunde), die aber nach neueren Funden auch echten Reptilien angehören können.

Diese dreiteiligen Schichten nehmen in Deutschland weite Gebiete ein: 1. Die süddeutsche Trias in Franken und Schwaben (Abb. 203). 2. Elsaß-Lothringen (Haardt, Nordvogesen, lothringisches Hügelland). 3. Norddeutschland zwischen Harz und Thüringerwald und verdeckt bis nach Oberschlesien. 4. Helgoland,

eine abgesprengte Scholle aus Zechstein und Trias (Abb. 6).

Jura.

144. Mit dem allmählichen Vorschreiten des Meeres überweite

Teile von Europa, jener Überflutung, der die bereits erwähnte Knochenschicht (Bonebed) ihre Entstehung verdankt, wurde die Juraperiode eingeleitet. Es begannen nun wechselnde Absätze von Mergel, Eisen- und Kalksandsteinen, Kalksteinen und Schiefen. Im deutschen Juragebirge, dem die Schichten ihren Namen verdanken, pflegt man nach der vorherrschenden Farbe der Gesteine 3 *Unterabteilungen* zu machen, nämlich: 1. Schwarzer Jura (z. B. dunkle Schiefer und Kalke). 2. Brauner Jura (Eisenschüssige Sandsteine, Eisenrogenstein, Mergel). 3. Weißer Jura (helle Kalke) (Vgl. Abb. 203).

Bisweilen gebraucht man jetzt dafür die englischen Steinbrecherausdrücke Lias, Dogger, Malm.

Das Jurameer barg eine ebenso reiche wie merkwürdige *Tierwelt*: zunächst *Korallen*, deren sechsstrahlige Einteilung des Innenraums bereits an die heutigen Formen erinnert, *Seeschwämme*, zahlreiche *Weichtiere*, unter denen die *Ammoniten* sowohl an Zahl als an Formenreichtum und Größe alle anderen Meeresbewohner überragen (Tafel IV, 9—12). Wundervoll gegliederte *Seelilien* trugen auf einem rankenbedeckten Stiel eine mächtige Krone vielfältig gespaltener Fangarme, zwischen denen der eigentliche Körper fast verschwand (Abb. 207). Ein besonderes Interesse beanspruchen die *Belemniten* (Abb. 204). Die am häufigsten erhaltenen Reste derselben sind die „Donnerkeile“, zigarrenförmige Kalkgebilde, die am breiten Ende einen Trichterhohlraum besitzen.

Dieser wurde ausgefüllt von einem kegelförmigen Körper, dessen ganze

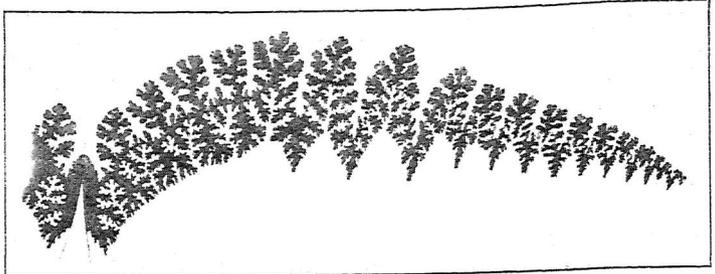


Abb. 202. Satur eines Triasammoniten aus Halstatt, Pinacoceras. (Aus Stromer.)

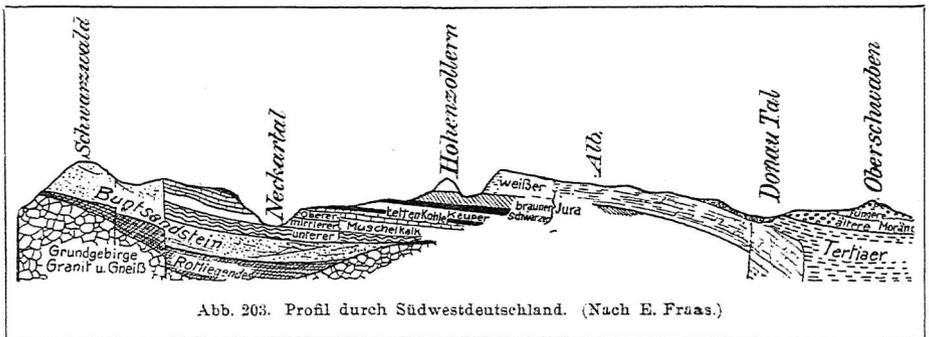


Abb. 203. Profil durch Südwestdeutschland. (Nach E. Fraas.)

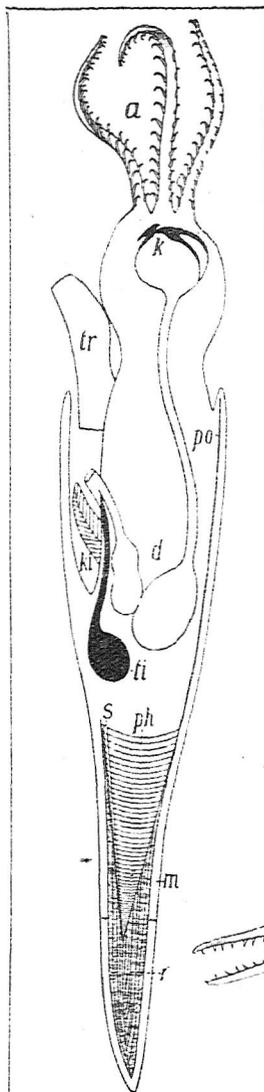


Abb. 204. Belemnite, Längs-
schnitt, rekonstruiert.
(Aus Stromer.)

a Arme, *k* Kiefer, *d* Darm,
tr Trichter, *ki* Kieme,
fi Tintenbeutel, *m* Mantel,
po Scheide (Sepia), *r* Don-
nerkeil (Rostrum) mit
tütentörmiger Höhle (Al-
veole), darin *ph* mit Sep-
ten und Siphon (*s*) ver-
sehener „Phragmoconus“.

Gliederung an einen Nautilus oder Orthoceras erinnert; denn er besitzt dieselben Kammern, Scheidewände mit Durchlaßöffnung für den Eingeweideschlauch (Siphon). Der Kegel trägt ein zartes, hornigkalkiges Blatt, die Scheide, die dem porösen Rückenschulp unserer Tintenfische (Sepia) entspricht. Feine Gefäßindrücke (Abb. 214) auf der Oberfläche der Donnerkeile deuten darauf hin, daß alle diese Hartteile innerhalb des Tierkörpers lagen. Wir dürfen danach annehmen, daß die Belemniten Kopffüßer ohne Gehäuse waren; aus der bisweilen bedeutenden Größe der Donnerkeile können wir auf eine Gesamtlänge der Tiere von mehr als 2 m schließen.

Unter den Fischen treten echte *Knochenfische* mit dachziegelartig einander deckenden Schuppen auf. Die Herren der jurassischen Tierwelt aber waren die *Reptilien*, die sich nicht nur das Meer untertan machten, sondern auch auf dem Lande lebten und sich in die Luft erhoben. Einige Arten besaßen fast völlige Fischgestalt, wie der berühmte Ichthyosaurus (Abb. 206) mit seiner langen, stark bezahnten Schnauze, großen knöchernen Augenringen, flossenförmigen „Paddeln“ und einem unsymmetrischen Schwanz. Eine andere Form mit flossenartigen Beinen, aber überaus langem Hals und kleinem Eidechsenkopf war der Plesiosaurus. Dazu gesellten sich große Krokodile und Schildkröten. Die landbewohnenden Reptilien waren bei uns meist kleinere Tiere, während in Amerika Riesenformen von 15—30 m Länge auftraten

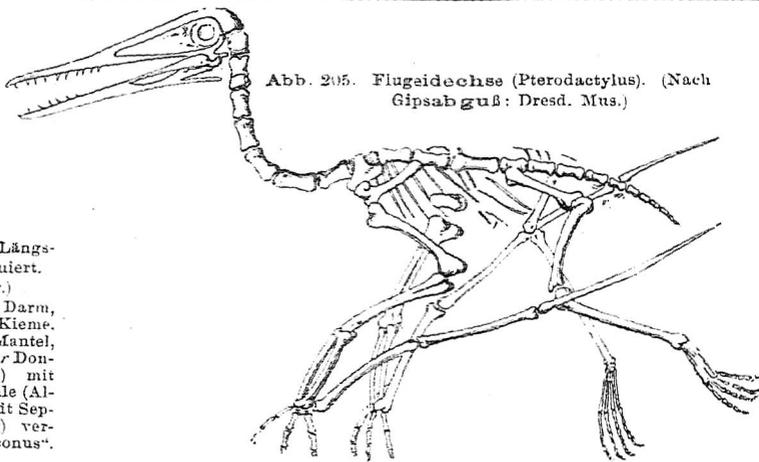


Abb. 205. Flugaidechse (Pterodactylus). (Nach
Gipsabguß: Dresd. Mus.)

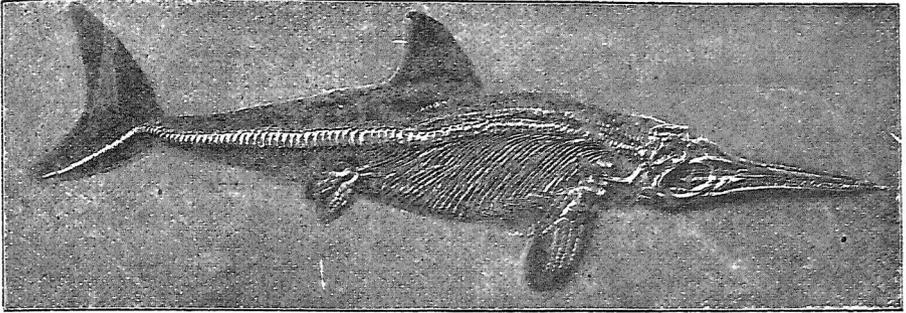


Abb. 206. Ichthyosaurus quadriseissus aus den Schieferbrüchen von Holzmaden.
(Orig. u. Phot. v. B. Hauff-Holzmaden.)

(Abb. 208). Einige kleinere Gattungen, die *Flugsaurier*, erhoben sich wie Fledermäuse in die Luft (*Pterodactylus* Abb. 205); sie waren wie die Vögel mit luftgefüllten Knochen ausgestattet, hatten einen Schädel mit bezahntem Schnabel und eine Flughaut, die sich zwischen dem Rumpfe und einem verlängerten Finger ausspannte. Die großartigen versteinungsreichen Brüche im Lithographenkalk von Solnhofen lieferten aber auch zwei Skelette von wirklichen, federtragenden *Vögeln* (*Archaeopteryx*, Abb. 209). Diese seltsamen Tiere hatten die Größe einer Taube, Knochen ohne Lufträume, langen befiederten Eidechschenschwanz, richtige Vogelflügel und einen bezahnten Schnabel.

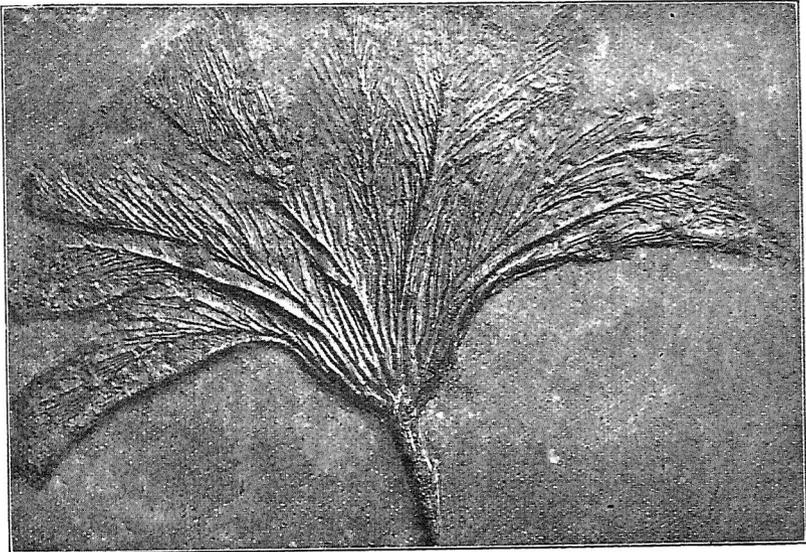


Abb. 207. Seelilie, *Pentacrinus subangularis*. „Schwabens Medusenhaupt.“ Oberer Lias.
(Orig. u. Phot. v. B. Hauff-Holzmaden.)

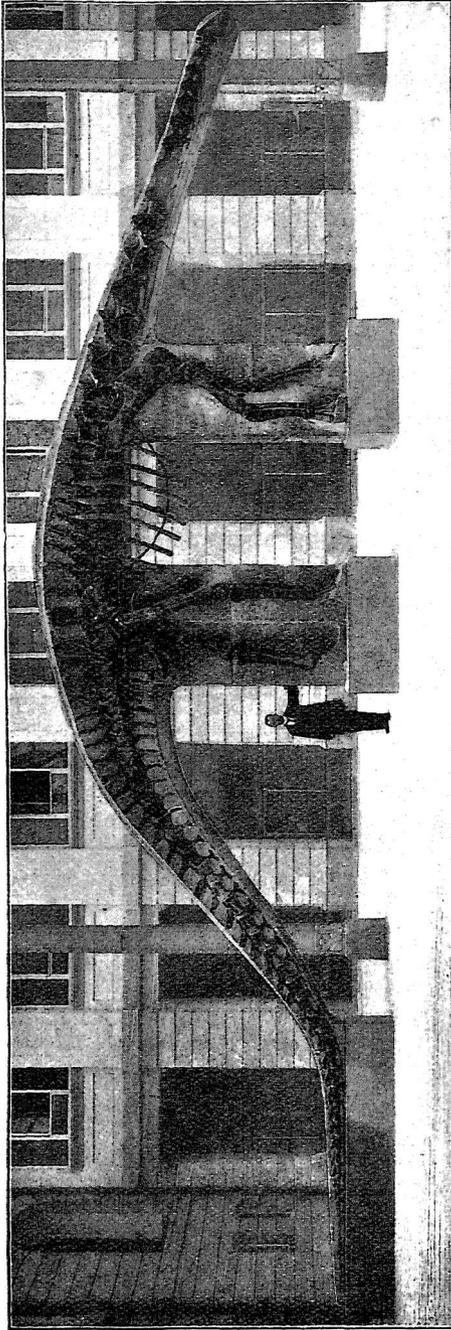


Abb. 208 *Diplodocus longus* Osborn. Jura, Wyoming. Länge 18 m. (Orig. im Mus. zu Frankfurt a. M.)

Zum mitteleuropäischen Jura-gebiete gehören außer Franken und Schwaben noch Nordwestdeutschland, Oberschlesien, vereinzelte Vorkommnisse in Sachsen und nahe der Odermündung. Das große französische Jurabecken ragt mit seinem Ostrande nach Deutschland. Auch in den Alpen und im Schweizer Jura spielt das Jurasystem eine hervorragende Rolle.

Kreide.

145. Die Kreidezeit hat in Europa fast ausschließlich Meeresablagerungen geliefert. Die weiße *Schreibkreide* (36), die an beiden Seiten der Straße von Calais und auf Rügen mächtige Felsklippen bildet, hat ihr den Namen gegeben. Der *Quadersandstein* (Abb. 19) der Sächsischen Schweiz, der in seinen unteren Schichten konglomeratartig wird, der *Grünsandstein*, dessen grüne Körner sich als Steinkerne von Foraminiferen erweisen, der *Plänerkalk* (nach dem ehemaligen Dorfe Plauen bei Dresden genannt), Mergel und plastische Tone spielen ebenfalls eine große Rolle.

In Nordwestdeutschland hat sich in einem morastigen, lagunenreichen Küstenstriche zu Anfang der Kreidezeit ein Ton abgelagert, in dem eine üppige Pflanzenwelt aus Palmenfarnen, echten Farnen und Nadelhölzern ihr Grab fand. Als *Wälderkohle* (engl. Wealdenkohle, nach den Wäldern von Kent) wird sie jetzt in der Nähe des Deisters vielfach abgebaut.

Ähnlich wie in der Juraperiode

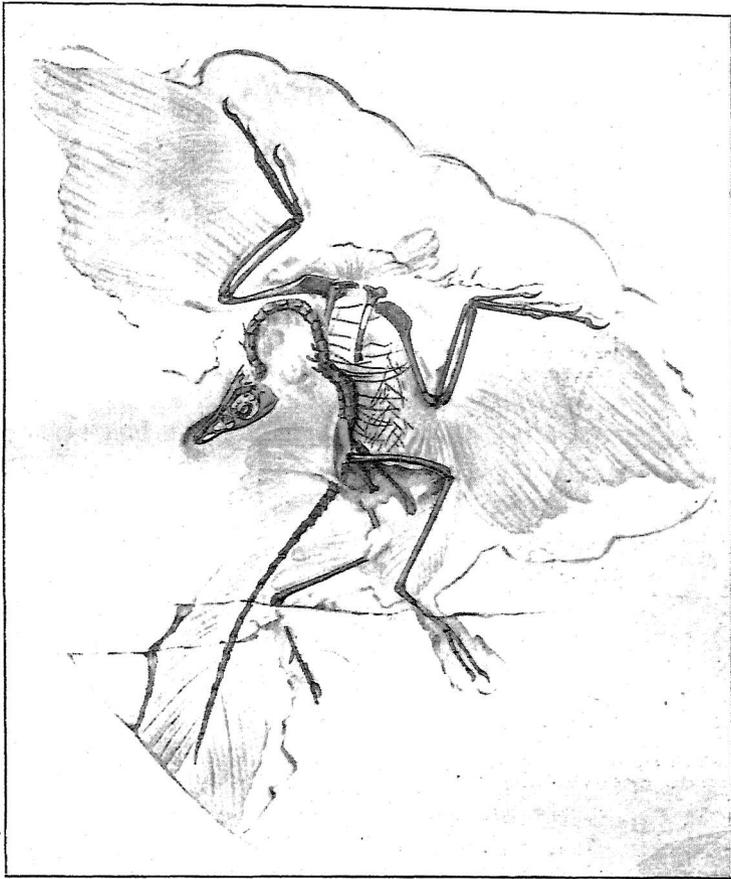


Abb. 209. Archaeopteryx, Urvogel mit Eidechschwanz auf einer Kalkplatte aus Solnhofen. Original im Berliner Museum. $\frac{1}{4}$ nat. Gr.

fand auch in der Mitte der Kreidezeit eine *Überflutung* (Transgression) großer Landgebiete statt, so daß die Schichten der jüngeren Kreidezeit viel weiter ausgedehnt sind und in übergreifender Lagerung (Abb. 54) auf vielen alten Gesteinen ruhen.

Die *Tierwelt* zeigt folgende bemerkenswerte Züge: Foraminiferen erscheinen in ungeheurer Fülle (Abb. 7); Schwämme treten viel häufiger auf als Korallen. Die Seeigel sind oft nicht völlig strahlig gebaut, sondern zweiseitig symmetrisch (Abb. 210, Seeigelstacheln siehe Abb. 217). Unter den Muscheln sind z. B. die Inoceramen (Abb. 211) und Kielaustern (*Ostrea*

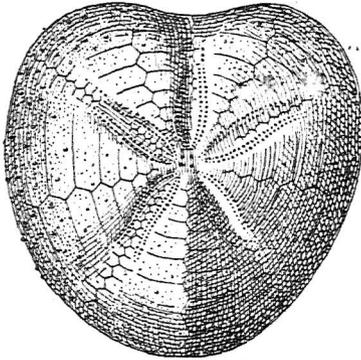


Abb. 210. Zweiseitig symmetrischer Seeigel: *Micraster cor testudinarium* (Nach Wanderer.)

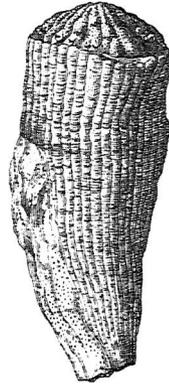


Abb. 213. *Hippurites*, aus der südlichen Kreide. (Nach Zittel.)

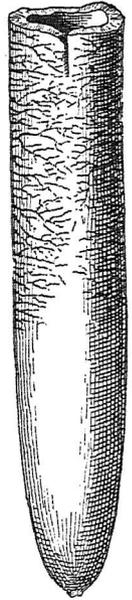


Abb. 214. *Belemnitella mucronata*, Rückenansicht, mit Gefäßindrücken. Obere Kreide. (Nach Wegner.)

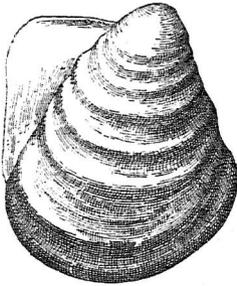


Abb. 211. *Inoceramus Brongniarti* (= Lamarcki) eine Leitmuschel im sächsischen Quadersandstein. (Nach Wanderer.)

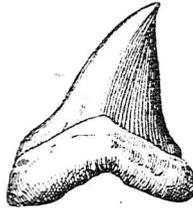


Abb. 216. Haifiszahn v. *Oxyrhina Mantelli*; aus der sächs. Kreide. (Nach Geinitz.)



Abb. 212. Kielauster, *Ostrea carinata* (Orig. Dresd. Mus.)

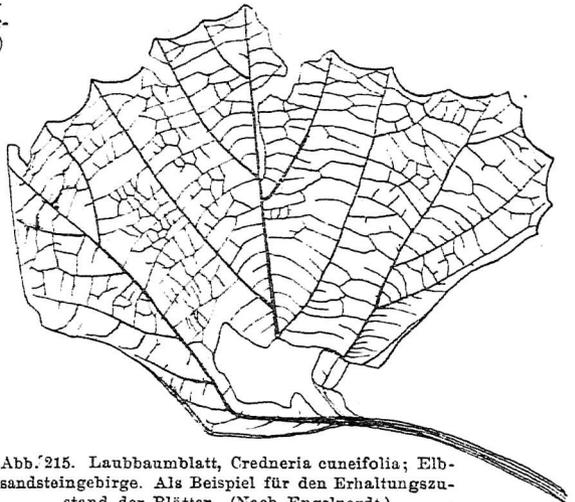


Abb. 215. Laubbaumblatt, *Credneria cuneifolia*; Elbsandsteingebirge. Als Beispiel für den Erhaltungszustand der Blätter. (Nach Engelhardt.)

carinata, Abb. 212) als sächsische Leitfossilien viel genannt.

Die südlicheren Meeresteile wurden von merkwürdigen Weichtieren mit mächtiger, kegelförmiger Falkenhale und zapfentragendem Deckel, den Hippuriten (Abb. 213), bevölkert.

Ammoniten entfalten noch einmal einen großen Formenreichtum, der an die ältesten Nautilen erinnert: geradlinige, hakenförmige, krummstabähnliche Gestalten bilden die letzten Nachkommen einer bedeutenden Tierabteilung (Tafel IV, 13—16). Auch die Belemniten (Abb. 214) sterben mit der Kreidezeit aus. Krebse, unter ihnen die ersten echten *Krabben*, Knorpel- und Knochenfische (Abb. 216) und Meeresschlangen sind vorhanden. Riesige Reptilien (z. B. *Iguanodon*) bevölkern die Sümpfe z. B. Nordwestdeutschlands. Zahntragende Vögel und einige Beuteltiere sind die am höchsten organisierten Lebewesen.

Während uns die Wälderkohle nur Vertreter der niederen Pflanzenwelt zeigte, finden wir in den Schichten der oberen Kreide (in Amerika bereits in der unteren) die *ersten Laubhölzer*, und zwar in einer merkwürdigen Mischung, die nur schwer einen Schluß auf das Klima der damaligen Zeit zuläßt. Neben Eichen, Buchen, Ahorn, Weiden, platanenähnlichen Bäumen (*Credneria*, Abb. 215) findet man Tulpenbäume, Magnolien, Feigenbäume, Lorbeer.

Man gliedert das Kreidesystem in folgende Unterabteilungen:

II. Obere Kreide (z. B. Elbsandsteingebirge)

3. Senon (gallischer Volksname)
2. Turon (ebenso, vgl. französische Landschaft Touraine)
1. Cenoman (ebenso, vgl. französische Stadt Le Mans)

I. Untere Kreide (z. B. Norddeutschland)

2. Gault (englische Ton-Abart)
1. Neocom (griech. Namen v. Neuchâtel) nebst Wealden.

In Frankreich bildet das Kreidesystem drei große Becken an der Seine, Garonne und Rhone, von denen das letztere sich in einer schmalen Zone am Nordabhange der Alpen durch Bayern und Tirol bis Salzburg und Österreich fortsetzt. In Deutschland ist besonders der Norden von

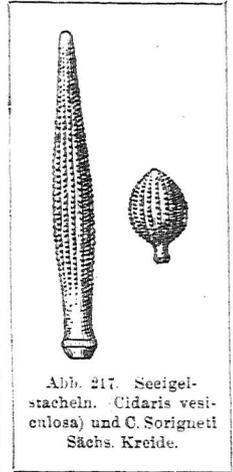


Abb. 217. Sceigelstacheln. *Cidaris vesiculosa* und *C. Sorigneti* Sächs. Kreide.

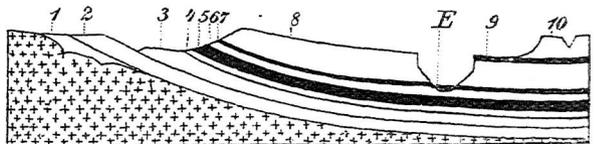


Abb. 218. Profil durch die flach muldenförmigen Schichten des Elbsandsteingebirges. Cenoman: 1. Grundkonglomerate, 2. Carinatenquader. Turon: 3. Labiatusquader, 4. u. 6. Grünsandstein, 5. Brongniartipläner, 7. Mergel, 8. Brongniartquader. Oberquader, 9. Mergel, 10. Überquader. E = Elbtal. (Nach Credner.)

Kreideschichten eingenommen, die jetzt zwar einzelne getrennte Bezirke bilden, aber jedenfalls zusammengehängen haben. Die wichtigsten Gebiete sind bei Aachen, in Westfalen und dem Teutoburger Walde, im Weserlande, vereinzelt Punkte in Pommern, auf Wollin und Rügen (Schreibkreide mit zahllosen Feuersteinen) usw., im sächsisch-böhmischen Quadersandsteingebirge (Abb. 218) und in Oberschlesien.

Känozoisches Zeitalter.

Tertiär.

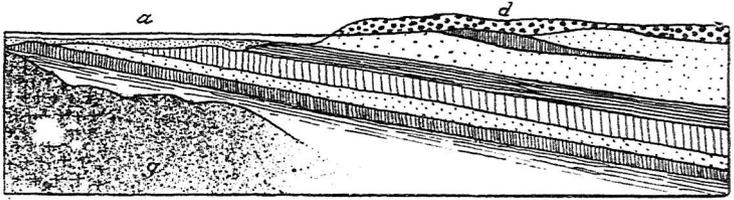
146. Die Tertiärzeit ist für die Herausbildung der heutigen Verhältnisse von ungeheurer Wichtigkeit. Meer und Land wechselten noch mehrfach den Platz, aber im allgemeinen hatte Europa einen Landgewinn; es wurde zum *Kontinente*. Zunächst zog allerdings noch ein Meeresarm von Südfrankreich durch Schwaben, Bayern, Ungarn nach Westasien; große Teile Südeuropas waren wasserbedeckt. Dagegen bestand eine *Landverbindung* zwischen Nordamerika und Nordeuropa. Im Laufe des Tertiärs wurden viele seichte Buchten des europäischen Meeres abgeschnürt, in *Binnenseen* umgewandelt und allmählich trocken gelegt, so das große Pariser Becken, das Mainzer (von Basel bis zum Taunus), das Wiener Becken. Mit der allgemeinen Hebung ging, ähnlich wie in der Karbonzeit, eine starke *Faltung* einher. Fast alle bedeutenden Hochgebirge der Gegenwart sind — wenn auch schon früher angelegt — im Tertiär ausgebildet worden, so: Pyrenäen, Sierra Nevada (Südspanien), Atlas, Apenninen, Alpen, Karpathen, Balkan, Jailagebirge (Krim), Kaukasus, Himalaya, Kordilleren. Die alten, längst abgetragenen Karbongebirge erhielten wieder schroffere Formen, indem sich einzelne Landschollen längs großen *Bruchzonen* verschoben. So entstand der Steilabfall des Erzgebirges, des Thüringer Waldes, der ober-rheinische Graben (Abb. 61) usw. Im Gefolge dieser Brüche fanden großartige *Eruptionen* von Basalt, Phonolith, Trachyt statt, die ganze Gebirge, weite Plateaus oder einzelne Kuppen aufbauten, z. B. Böhmisches Mittelgebirge, Vogelsberg, Rhön, Siebengebirge, Eifel, Hegau; das isländische Basaltplateau; Berge wie Kaiserstuhl, Hochwald u. a. (Abb. 92—94). Diese gänzlich veränderte Verteilung von Hoch und Tief hatte auch eine neue Entwässerung der Länder zur Folge: die *heutigen Flußsysteme* wurden meist im Tertiär angelegt.

Man hat das Tertiär *eingeteilt* in:

- | | |
|-----------------|---|
| 2. Jungtertiär, | b) Pliocän (gr. pleion = mehr, kainós = neu); |
| | a) Miocän (meion = weniger). |
| 1. Alttertiär, | b) Oligocän (olígos = wenig); |
| | a) Eocän (eós = Morgenröte). |

Das Klima war während des älteren Tertiärs im ganzen Norden noch recht warm. Selbst auf Grönland, Spitzbergen und Island gedieh noch eine

üppige Pflanzenwelt mit Buchen, Pappeln, Ulmen, Eichen, Platanen und Magnolien.



Gegen Ende der Periode

Abb. 219. Profil durch das Tertiär von Leipzig. *a* = Alluvium der heutigen Flüsse, *d* = Diluvium, *o. B.* = obere Braunkohle, Untermiocän, *o. O.* = Glimmersand, Oberoligocän, *s* = Septarienton, *st.* = Stettiner Sand, *u. B.* = untere Braunkohle, Unteroligocän, *t* = lichte Tone, *g* = Grundgebirge. (Nach Credner.)

waren die Zonenunterschiede viel stärker ausgebildet, und in unsrer Gegend war es damals nicht wesentlich wärmer als heute.

Die tertiären *Ablagerungen* sind bei uns meist weiße Quarzsande, (darunter die Formsande der Eisengießereien), stellenweise zu festen Quarziten (Knollensteinen) verkittet, weiße Tone, Kalk (z. B. der treffliche Bausteine liefernde Grobkalk des Pariser Beckens) und im Südosten Steinsalz (Wieliczka).

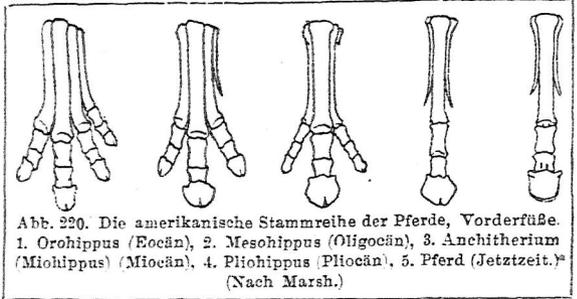
In den *Alpen* werden die Eocänschichten fast ganz aus talergroßen Gehäusen von Foraminiferen, den *Nummuliten* (Abb. 31), zusammengesetzt. Darauf liegen dunkle Schiefer, tonige Kalke (Flysch), graue Sandsteine (Molasse), ein beliebter Baustein der Nordschweiz, und endlich grobe Konglomerate, die ganze Berge wie den Rigi aufbauen (Nagelfluh). (Abb. 17.)

Von großer Bedeutung für das Tertiär Norddeutschlands sind die *Braunkohlenflöze* der rheinischen Bucht, der sächsisch-thüringischen (Abb. 219) und niederschlesischen Bucht. Sie haben sich fast alle im Oligocän gebildet; jünger (miocän) sind die Braunkohlen der Lausitz und der Mark. Sumpfyzypressen, Zimmet- und Lorbeerbäume, Weiden, Birken und andere Bäume lieferten das Material zu den Braunkohlen.

Andere tertiäre Bäume, vor allem Kiefern und Fichten, haben uns als wertvolles Andenken ihr Harz, den *Bernstein*, (51) hinterlassen. Diese Bäume litten an einer Krankheit und suchten ihre Wunden durch überaus reichlichen Harzausfluß zu heilen. Im Gebiete der Ostsee sind viele solche Wälder untergegangen; die „blaue Erde“ auf Samland ist eine tertiäre Ablagerung, in der man den Bernstein ausgräbt.

Die tertiäre *Tierwelt* läßt uns fast keine wichtige Familie, die wir gegenwärtig finden, vermissen, und am Ende der Periode sind nicht weniger als 90% der Tierarten den heutigen gleich. Trotzdem fehlt es nicht an Merkwürdigkeiten, vor allem unter den Säugetieren. Gewaltige Rüsseltiere traten auf, so das Schreckenstier (*Dinotherium*), ein Verwandter der Elefanten, dessen metergroßer Schädel am Unterkiefer zwei gebogene Hauer trug; der Mastodon-Elefant, bei dem beide Kieferpaare mit Stoßzähnen bewaffnet waren. Weit verbreitet waren die *Huftiere*, im ältesten Tertiär zum Teil noch mit fünf Zehen, zuletzt mit zwei oder einer behuften Zehe. Besonders in Nordamerika findet man eine ganze Anzahl von pferdeähnlichen Tieren,

deren Fußform mit dem jüngeren Alter der Art sich immer mehr der unserer Pferde nähert. Auf die fünfzehigen Formen folgte im Eocän ein Tier von Fuchsgröße und mit vier Zehen (Orohippus, Abb. 220), im Oligocän ein anderes von der Größe eines



Schafes, dessen Vorderfuß nur noch drei große und eine verkümmerte Zehe trägt (Meshippus), dann Miohippus mit leiser Andeutung der vierten Zehe, Pliohippus mit einem Hufe und zwei Afterzehen, endlich unser Pferd.

Quartär.

147. Gegen Ende der Tertiärzeit machte sich auf der nördlichen Halbkugel eine merkwürdige *Klimaänderung* geltend; eine Abkühlung um vielleicht 4° des Jahresdurchschnitts, vor allem aber eine Vermehrung der Niederschläge trat ein. Im Gebirge wie im hohen Norden fielen die Niederschläge in Form von Schnee, und die Wärme der kühlen Sommer reichte nicht hin, sie wegzuschmelzen. In den *Alpen* rückte die Schneegrenze um 1200 m unter den heutigen Staud, und die Gletscher nahmen gewaltigen Umfang an. Der Rhonegletscher drang bis Genf; der Rheingletscher füllte

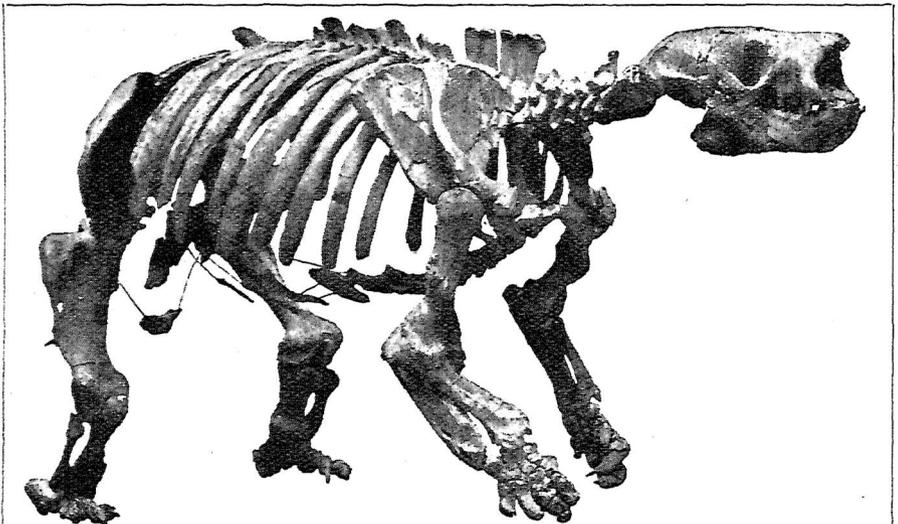


Abb. 221. Riesenfaultier, Megatherium (Mylodon), von Elefantengröße, Pampasformation Südamerikas. (Orig. Mus. Kopenhagen.)

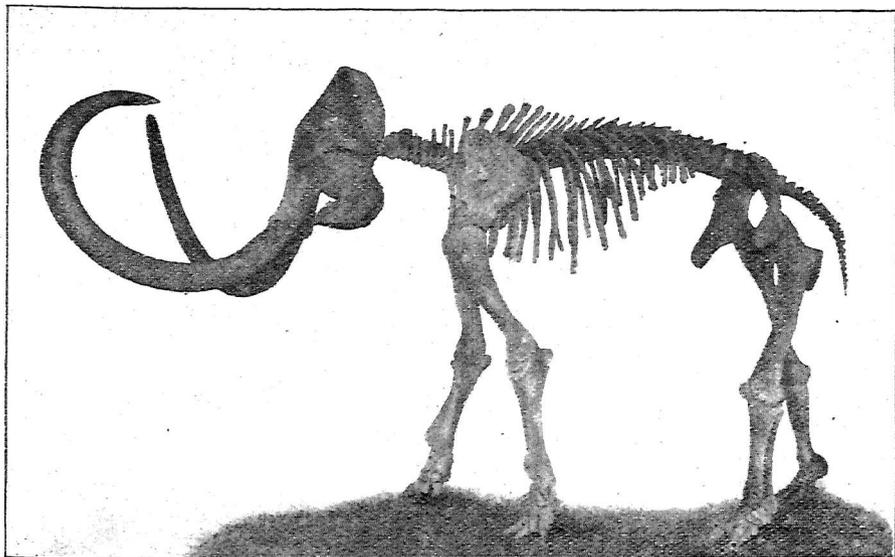


Abb. 222. Skelett eines Mammuts, 1908 in einer Tongrube bei Borna (Bez Leipzig) gefunden.
(Orig. im Leipz. Mus. f. Völkerk., Phot. v. J. Felix.)

die ganze Fläche des Bodensees und bedeckte einen Teil Oberschwabens; der Innegletscher breitete sich über das südliche Oberbayern aus (11). Selbst die höheren Gipfel der *deutschen Mittelgebirge* waren in eine Firnkappe gehüllt. Die Hauptmasse des Eises aber rückte von Norden her an. Die *skandinavischen Gletscher* überzogen nicht nur die ganze Halbinsel, sie überschritten das seichte Ostseebecken, fast die ganze Nordsee, schoben sich nach England, Holland, Deutschland, Rußland vor. Und schließlich war eine Eiskappe vorhanden, die im Norden etwa 2 km dick war, in der Mitte 1 km und deren Randteile noch immer mehrere Hundert Meter hoch an den deutschen Gebirgen: Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge, Sudeten emporreichte. Das heutige Grönland gibt uns eine schwache Vorstellung von diesem gewaltigen „Inlandeis“.

In dem schmalen, eisfreien Zwischenstreifen herrschte ein Klima, das an die nordischen *Tundren* erinnert. Kleine Weidensträucher und Zwergbirken krochen am Boden hin; Ried- und Wollgräser wuchsen im Verein mit Steinbrech auf den sumpfigen Wiesen. Weidende Renntiere, schleichende Eisfuchse, Scharen von Lemmingsen, weiße Schneehühner bevölkerten sie, und als König der Tierwelt galt das zottige *Mammut* mit seinen stark gekrümmten Stoßzähnen (Abb. 222)¹⁾.

1) Das ebenfalls gewaltige Riesenfaultier oder Megatherium (Abb. 221) wurde in einer eiszeitlichen Lößablagerung Südamerikas gefunden.

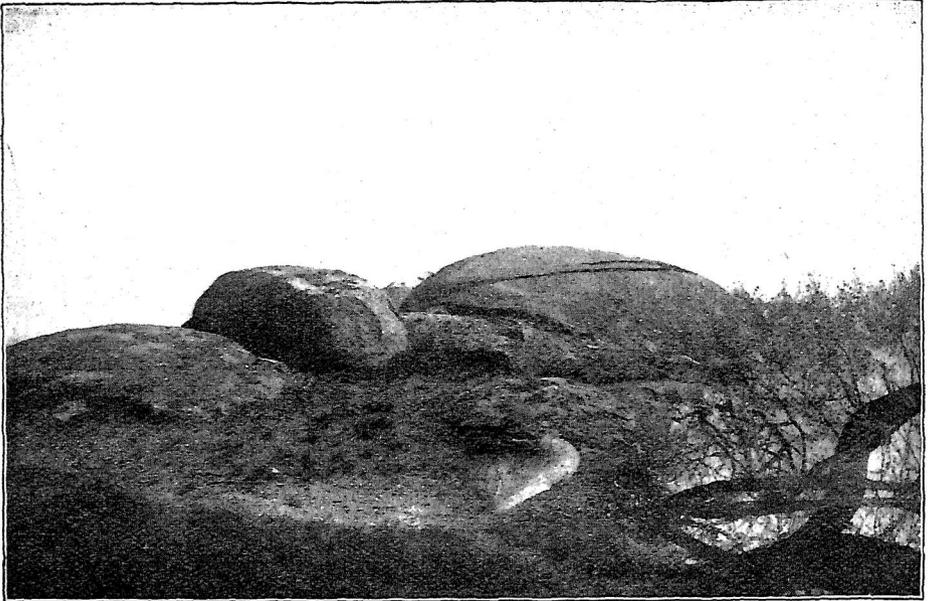


Abb. 223. Rundhöcker im Granit bei Kamenz i. S. (Phot. v. Weber.)

Der Eisrand blieb nicht immer an derselben Stelle. Wie die Enden unserer Alpengletscher ging er vor und zurück, zuweilen so weit, daß fast ganz Deutschland wieder eisfrei war. Viele Forscher ziehen deswegen vor, mehrere *Eiszeiten* (3—4) anzunehmen, die getrennt wurden von jahrtausendlangen trockeneren und wärmeren „*Zwischeneiszeiten*“ (Interglazialzeiten).

Gliederung der Eiszeit in Norddeutschland:

- Postglazialzeit.
- Dritte Glazialzeit (Baltischer Gletscher).
- Zweite Interglazialzeit.
- Zweite Glazialzeit.
- Erste Interglazialzeit.
- Erste Glazialzeit.
- Präglazialzeit.

Gliederung der Eiszeit im Alpengebiet:

- Nach-Würmzeit
- Vierte oder Würm-Eiszeit.
- Dritte Interglazialzeit
- Dritte oder Riß-Eiszeit.
- Zweite Interglazialzeit
- Zweite oder Mindel-Eiszeit.
- Erste Interglazialzeit
- Erste oder Günz-Eiszeit.

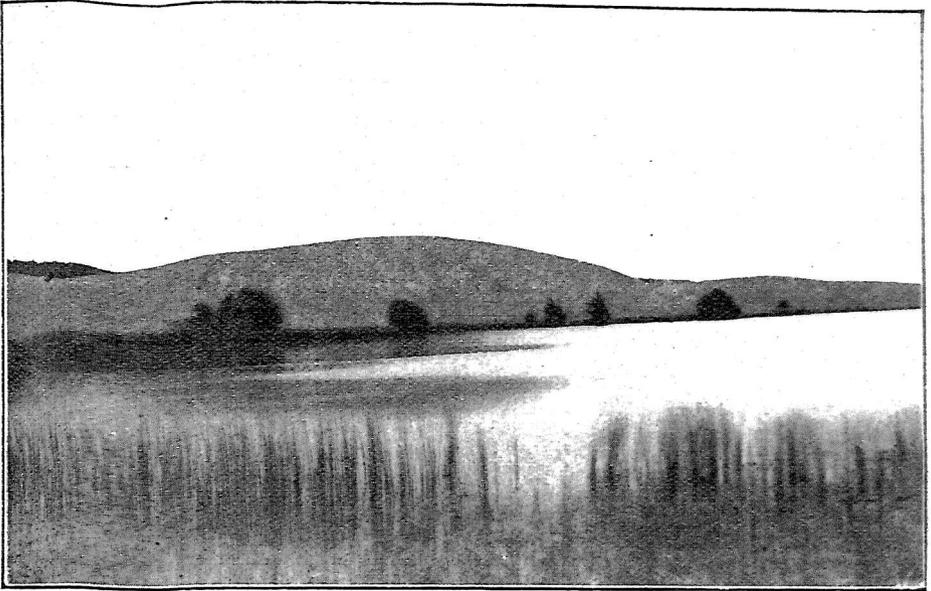


Abb. 224. Endmoränenzug und Glambecker See bei Warin. (Phot. v. Lösner.)

Früher glaubte man, daß während der Eiszeit eine allgemeine Überflutung Europas eingetreten sei und nannte die Periode deshalb *Diluvium* (= Sintflut). Jetzt hat man aus den *Ablagerungen* das einstige Vorhandensein von *Gletschermassen* unzweifelhaft festgestellt. Das anrückende Eis wurde angekündigt durch gewaltige Schmelzwässer, die von Norden nach Süden flossen und *schlecht geschichtete Gerölle* — bestehend aus heimischem Material — ablagerten. Das Eis selbst besaß zwar keine Oberflächenmoränen, dafür aber eine *Grundmoräne*, die stellenweise 60—200 m mächtig war. Es ist der bereits beschriebene *Geschiebelehm* (11) oder *Geschiebemergel* (10—12% Kalkgehalt) mit seinen gerundeten und gekritzten (geschrammten) Geschieben und den großen Findlings-, Wander- oder *erratischen Blöcken* (errare = umherirren) (Abb. 16). Die Steine geben uns Kunde von dem Wege, den das Eis nahm: buntfarbige Granite aus Skandinavien, Elfdalener rote Porphyre, Basalte und Silurkalke aus Schonen, Feuersteine von Rügen u. a. Wo die *Moräne* das anstehende Felsgestein gerundet und poliert hat (104), bezeichnen *Ritzen* die Stoßrichtung des Eisstroms (z. B. bei Rüdersdorf, Leipzig, Kamenz) (Abb. 223). Da jeder erneute Vorstoß die Ablagerungen der vorhergehenden Zeit teilweise zerstörte oder umarbeitete, sind uns am besten die Zeugnisse der letzten großen Vereisung erhalten. Diese erreichte Sachsen nicht mehr, sondern machte vermutlich an dem südlichen Höhenrücken (Fläming, Katzenberge) halt.

Der *Rückzug* ging ruckweise. Wo der Eisrand längere Zeit stehen blieb,



Abb. 225. Vielfach sich teilender Gletscherstrom (Markarfljó) in Südisland, als Abbild einer norddeutschen Urstromlandschaft. (Jb. d. geol. Landesanst.)

wurde er durch einen Zug von *Endmoränen* (10) (Abb. 224) bezeichnet. Die davorliegende Fläche wurde von den Schmelzwässern (Abb. 225) überflutet und ausgeschlämmt, so daß sich der *Geschiebedecksand* ausbildete, dem die feineren Bestandteile der Grundmoräne fehlen. Man hat diese breiten Sand- und Kiesflächen vor den Endmoränen mit einem isländischen Worte auch „*Sandr*“ genannt. Das Schmelzwasser sammelte sich in einer breiten Abflußrinne, die sich nordwestwärts in die Gegend der heutigen Elbmündung wandte. Immer neue Flächen wurden vom Eise befreit, durch die Gewässer in eine buckelige Landschaft umgewandelt, und die gemeinsame Sammelrinne wurde mit nach Norden verlegt. So ist uns der etappenweise Rückzug des Eises durch mehrere Züge von Endmoränen und durch 5—6 deutlich ausgeprägte *Urstromtäler* (Abb. 226) belegt. Letztere sind auch heute noch als ebene, sehr wenig geneigte Streifen mit geschichteten Ablagerungen zu erkennen und dienen den jetzigen Flüssen und Kanälen als vorgezeichnete Zugstraßen. Man benennt sie gewöhnlich als: I. Breslau-Hannoversches, II. Baruther,¹⁾ III. Warschau-Berliner, IV. Thorn-Eberswalder, V. Pommersches Urstromtal. An manchen Stellen staute sich das Wasser in denselben zu Seen an. So wechseln in den Urstromtälern langweilige, mit Kiefernwald bestandene „*Talsand*“-Flächen mit den Ausfüllungsmassen jener Stauseen und Altwässer, dem schön geschichteten, blaugrauen „*Bänderton*“. Aber auch die zahllosen

1) Nach den jüngsten Forschungen Wahnschaffes führt dieses Tal nicht von Glo-gau aus durch, sondern ist bei Forst durch eine Bodenschwelle unterbrochen.

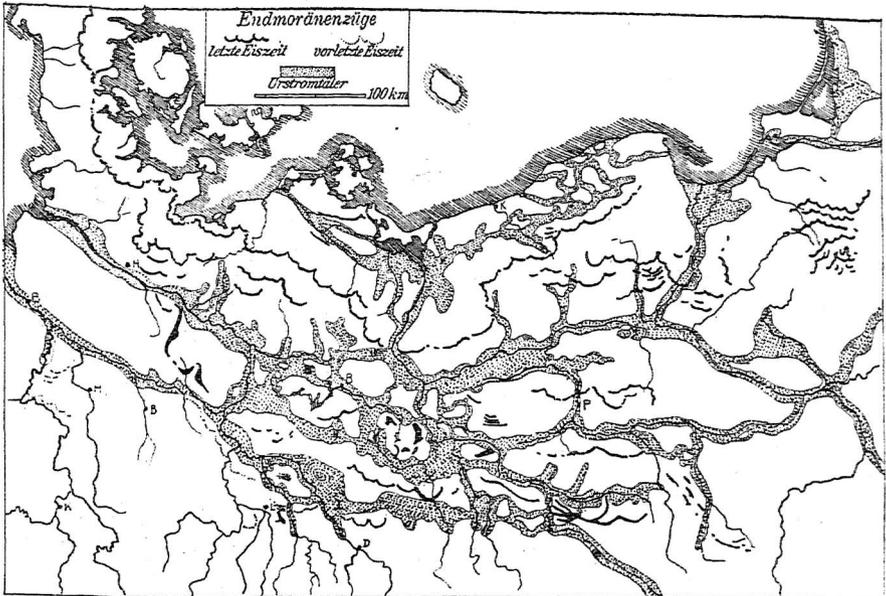


Abb. 226. Die norddeutschen Urstromtäler und Endmoränenzüge.
(Nach Keilhack 1909.)

Seen auf den norddeutschen Landrücken verdanken ihre Entstehung größtenteils der Eiszeit; sie sind meist Ausfüllungen der abflußlosen Vertiefungen innerhalb der „buckeligen Welt“ oder alte Flußrinnen (Abb. 224). Einige von ihnen, die „Sölle“ oder „Pfähle“ erklärt man durch die ausstrudelnde Tätigkeit des in Spalten abstürzenden Gletscherwassers. Eine besondere Landschaftsform innerhalb der Grundmoräne stellen die „Oser“ (schwedisch *Åsar*) dar. Wie künstliche Eisenbahndämme ziehen diese teilweise geschichteten Kiesrücken etwa rechtwinklig zum Laufe der Endmoränen durch die Ebene. Man glaubt, daß sie in Eistunnels oder an deren Ausmündung während des Eisrückzuges vom fließenden Wasser abgelagert worden seien.

Nach dem Rückzuge des Eises wurde Deutschland nur langsam für das Tier- und Pflanzenleben zurückerobert. Zunächst waren die weiten Flächen schutzlos dem Winde und den regellos dahinfließenden Gewässern preisgegeben. Damals — zum Teil auch schon in der letzten Zwischeneiszeit — lagerte sich im Rheintale, in Nordsachsen, in der Magdeburger Gegend der gelbe, staubfeine *Löß* (7) ab. Man hat ihn für eine äolische Ablagerung wie den chinesischen *Löß* erklärt, 1. weil er ungeschichtet ist, 2. weil er — ebenso wie der Decksand — vom Winde angeschliffene *Kantengeschleife* enthält, 3. weil in ihm Landschnecken (Abb. 11) und die Reste typischer Steppentiere (Antilopen, Wildpferde, Springmäuse, Pfeifhasen) vorkommen, 4. weil sich die Wurzelröhren der Gräser in ihm erhalten haben. Andere Forscher

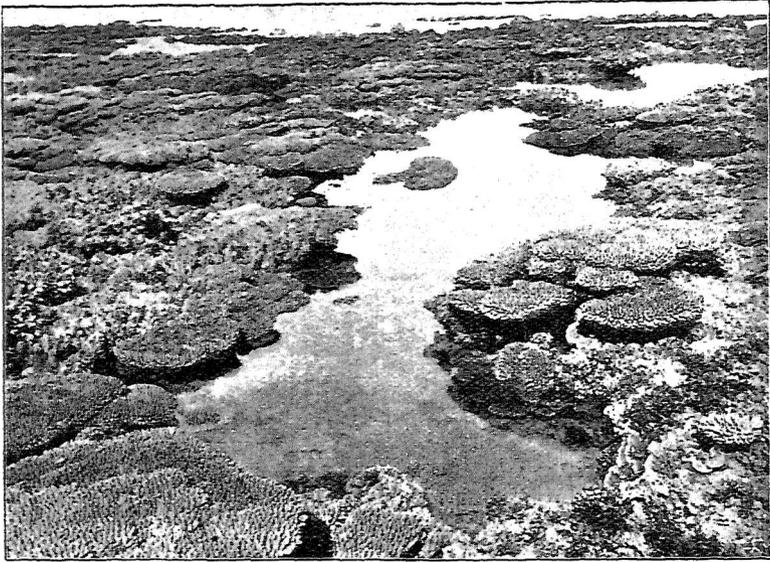


Abb. 227. Korallenbank. (Nach Kraepelin.)

aber halten den LÖB für die feinen, vom Wasser ausgeschwemmten Bestandteile der Grundmoräne, die sich in Stauseen abgelagert haben.

Nach und nach siedelte sich der *Wald* an, erst Birken und Zitterpappeln, dann Kiefern, Eichen, Erlen, zuletzt Buchen. Noch immer bevölkerte eine seltsame *Tierwelt* diese Gegenden. Riesenhirsche, Urstiere (Wisent), Auerochsen bewohnten die Wälder; wollhaarige Nashörner, Elefanten durchstreiften die Lichtungen, und in den Höhlen, z. B. des Vogtlandes, hausten Bären, Hyänen und Höhlenlöwen.

So gelangen wir allmählich in die Gegenwart, in das *Alluvium* (= Anschwemmung). In das Alluvium fällt die Ausbildung der heutigen Flußtäler, die Ablagerung von Flußschottern und Gehängelehm; die Bildung von Dünen, Torfmooren; die Eruptionen unserer tätigen Vulkane, der Aufbau neuer Korallenriffe (Abb. 227). Und so geht auch heute noch vor unsern Augen der ewige Kampf fort zwischen Feuer und Wasser, zwischen vulkanischen und neptunischen Kräften.

Der fossile Mensch.

148. Wann und wo trat der Mensch zum ersten Male in die Erscheinung? Diese bedeutsame Frage wird wohl nie völlig beantwortet werden. Aber sicher reichen seine Spuren viel weiter zurück als die ältesten Schriftdenk-

male. Wir sind also darauf angewiesen, seine Reste in den Schichten der Erde aufzuspüren. Ob es schon Menschen oder menschenähnliche Wesen während der *Tertiärzeit* gegeben hat, ist noch viel umstritten, aber sehr wahrscheinlich. Als einziges Beweismittel dienen unbearbeitete Feuersteinstücke, die an kleinen Abnutzungsmarken als menschliche Werkzeuge erkannt worden sind, sogenannte *Eolithen*.

Ein holländischer Militärarzt, Eugen Dubois, fand auf Java ein sehr flaches Schädeldach, einen Backenzahn und einen Oberschenkelknochen, worin man lange Zeit das tertiäre Bindeglied zwischen Affen und Menschen entdeckt zu haben glaubte (*Pithecanthropus erectus*). Es hat sich aber herausgestellt, daß die betreffenden Schichten höchstens dem mittleren Diluvium angehören, daß also der *Pithecanthropus* gleichzeitig mit den Urmenschen gelebt haben muß.

Sicher erwiesen ist dagegen das Vorhandensein von Menschen in Europa bereits zum *Beginne des Diluviums*, also während das Inlandeis heranrückte. Der älteste bisher gefundene menschliche Rest ist der 1907 in altdiluvialen Neckarsanden des Elsenztales, im Dorfe Mauer bei Heidelberg entdeckte Unterkiefer des „*Homo Heidelbergensis*“ (Abb. 235 B). Er zeigt neben durchaus menschlichen Zähnen ein ganz abgerundetes und sehr massiges Kinn wie es den Menschenaffen eigen ist. Ein Schädeldach mit sehr niedriger, stark zurückweichender Stirn und mächtigen Augenbrauenbogen fand man im Neandertal bei Düsseldorf (Abb. 235 A). Sehr alt sind vermutlich auch die beiden Backenzähne aus dem Kalktuff von Taubach bei Weimar. Zu dem „*Neandertaltypus*“ gehören ferner die vielbesprochenen Skelettreste von Spy bei Namur, aus der Grotte von Krapina in Kroatien und von Le Moustier in der Dordogne.

Das höhlenreiche Gebiet der Dordogne hat aber auch Reste einer wesentlich höheren Menschenrasse der Diluvialzeit geliefert; hochgewachsene Menschen mit schlankem Knochenbau, langem Schädel, hoher Stirn ohne starke Augenbrauenwülste. Man nennt diese Rasse nach einer Höhle Cro-Magnon-Rasse. So treten uns also bereits auf der frühesten bekannten Entwicklungsstufe des Menschen zwei Typen, sowie verschiedene Mischrassen entgegen.

Der diluviale Mensch bediente sich meist steinerner, roh zubehauener Werkzeuge: Beile, Hacken, Messer, Schaber (Abb. 228). Später lernte er Knochen verarbeiten, z. B. zu Dolchen (Abb. 230). Sogar künstlerisch betätigte er sich bereits. In den Höhlen Südfrankreichs fand man nicht nur zahlreiche Werkzeuge, zerschlagene und bearbeitete Knochenreste vom Mammut, Renntier, Moschusochsen, sondern die Höhlenwände trugen auch noch wohlerhaltene Tierbilder, vielleicht Denkmäler erfolgreicher Jagdzüge, hergestellt in der langen Winterszeit (Abb. 229). Auch eine Elfenbeinplatte mit der eingekritzten Zeichnung eines Mammuts ist gefunden worden. Man nennt diese älteste Entwicklungsperiode des Menschengeschlechts die *dilu-*

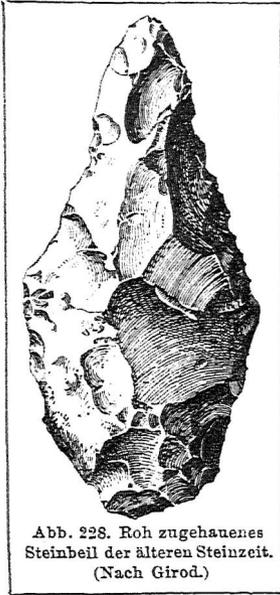


Abb. 238. Roh zugehauenes
Steinbeil der älteren Steinzeit.
(Nach Girod.)

viale oder ältere Steinzeit oder paläolithische Zeit (gr. palaios = alt, lithos = Stein).

Norddeutschland wurde endgültig erst nach dem Verschwinden des Inlandeises, also zu Beginn des *Alluviums* besiedelt. Auch während dieser Periode waren die Waffen und Werkzeuge vorwiegend aus Stein, so daß man von einer *jüngeren Steinzeit* oder einer *neolithischen* (gr. neos = neu) Periode spricht.

Die neolithischen Instrumente sind viel besser bearbeitet, geschliffen, poliert, bisweilen mit Facetten versehen und zur Aufnahme eines Schaftes durchbohrt (Abb. 231). Dazu hatten die Menschen gelernt, aus Lehm und Ton rohe Gefäße zu brennen, mit Hacken den Boden zu bearbeiten, aus Korn Mehl zu bereiten und aus Pflanzenfasern Gewebe herzustellen. Auch Viehzucht wurde bereits getrieben. Während der jüngeren Steinzeit begruben die Menschen ihre Toten in mächtigen Steinbauten oder Hünengräbern (Abb. 232).

In das ältere Neolithikum rechnet man auch die *Kjökkenmöddinger* (= Küchenmoder) in Dänemark, große Abfallhaufen von Muschelschalen, Fischgräten, gespaltenen Knochen vom Hirsch, Wildschwein, Bären, Wolf,

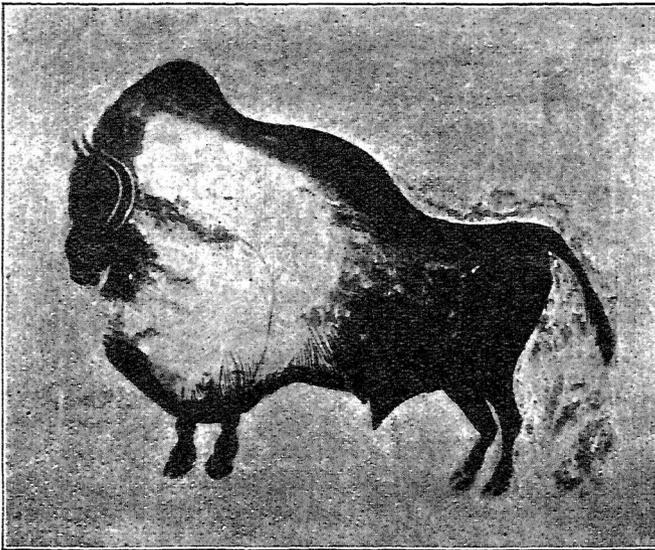


Abb. 229. Wisent (*Bos bison*). Wandbild aus einer südfranzösischen Felsenhöhle. Umrisse in den Stein geritzt, dann ausgemalt. (Aus Nat. u. Schule.)

Hund usw., zwischen Pfeilspitzen, Steinäxte, Knochenpfeilen und Tonscherben. Auch die *Pfahlbauten* der Schweiz (Bodensee) gehören hierher. Aus dem Orient kam dann die Kunde, daß man aus Kupfer oder aus Bronze (Kupfer und Zinn) Werkzeuge gießen und schmieden könne. Zunächst gelangten solche Metallsachen auf Handelswegen zu uns; später hielt die

„Bronzezeit“ auch in Deutschland Einzug. Die Fertigkeit der Töpfer nahm sichtlich zu, und in den Gräbern der Bronzezeit (Abb. 233) findet man oft Urnen, gefüllt mit der Asche der verbrannten Leichen oder mit wertvollen Beigaben zur Benutzung für die Toten im Jenseits (Abb. 234).

Mit dem Auftreten des *Eisens* kommen wir in jenen Zeitabschnitt, von dem uns bereits die alten Schriftsteller berichten — wir haben mit Hilfe der *Vorgeschichte* oder *Prähistorie* eine Brücke gewonnen zwischen Erdgeschichte und Menschheitsgeschichte.

Hauptsätze der Abstammungslehre.

149. Die Lehre von den versteinerten Lebewesen ist eine junge Wissenschaft, die ihre Wiege in Frankreich hat. In alter Zeit hielt man die Fossilien für zufällige, unorganische „Naturspiele“. Es war vor allem *George Cuvier* (1769—1832),

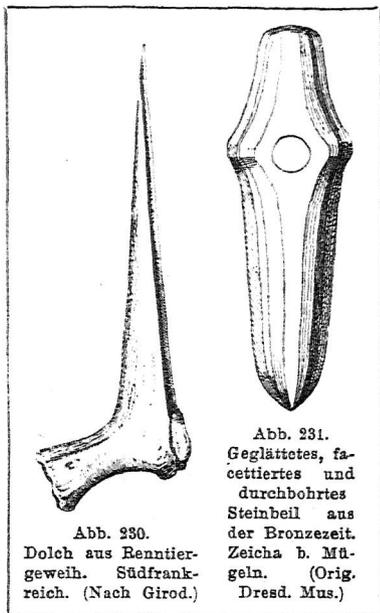


Abb. 230.
Dolch aus Renttier-
geweih. Südfrank-
reich. (Nach Girod.)

Abb. 231.
Geglättetes, fa-
cettiertes und
durchbohrtes
Steinbeil aus
der Bronzezeit.
Zeichn. b. Mü-
geln. (Orig.
Dresd. Mus.)

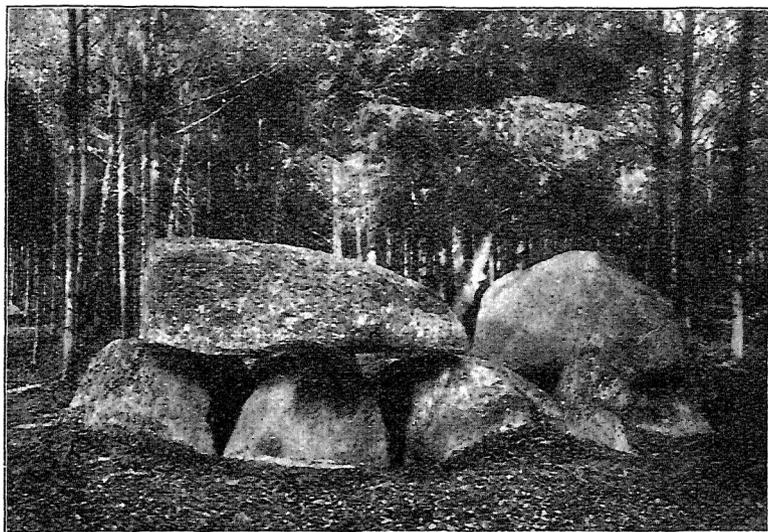


Abb. 232. Hünengrab. (Nach Kraepelin.)

der ihre organische Herkunft erkannte und es verstand, aus den unvollkommenen Knochenresten durch Vergleich mit lebenden Formen die vollständigen Skelette wiederherzustellen, zu „rekonstruieren“. Jede einzelne Tier- und Pflanzenart hielt er für etwas völlig Unveränderliches, für das Ergebnis eines besonderen Schöpfungsaktes. Die Lebewesen einer jeden Periode verdankten nach Cuvier einer eigenen Schöpfung ihr Dasein und wurden durch eine große Katastrophe vernichtet.

Der Lehrsatz von der Unveränderlichkeit der Arten begegnete aber bald manchem Zweifel, z. B. auch bei unserm Dichter Goethe, der eine Arbeit „über die Metamorphose (d. i. Veränderung) der Pflanzen“ schrieb. Man sah die große Veränderlichkeit der Hunde-, Taubenrassen, der Blumenvarietäten unter dem Einflusse der Menschen; man erhielt durch Kreuzung verwandter Arten (Ziege und Schaf, Pferd und Esel) neue Mittelformen usw. und stellte schließlich den neuen wichtigen Satz auf: *Die Arten sind veränderlich*; aus einer Art kann durch allmähliche Übergänge im Laufe längerer Zeiten eine andere entstehen.

Einen großen Schritt weiter ging der Engländer *Erasmus Darwin* (1731 bis 1802) und nach ihm der Franzose *J. B. Lamarck* (1744—1829). Sie fanden, daß von den ältesten Lebewesen bis zu den neuesten sich eine verwandtschaftliche Reihe bilden ließ, von den einfachsten, unvollkommensten bis zu den höchststehenden (Urtiere — wirbellose Tiere — niedere Wirbeltiere — höhere Wirbeltiere — Mensch) (Abb. 235). In einzelnen Fällen ließen sich die zahlreichen Zwischenformen zu einer lückenlosen Reihe zusammenfügen (z. B. Pferdeahnen) (Abb. 220). So kamen sie zu der *Abstammungslehre*: *Eine jede Art ist aus einer anderen, früher existierenden, meist weniger vollkommenen hervorgegangen*. Die gesamte Organismenwelt ist blutsverwandt, bildet einen ununterbrochenen Stammbaum. Die heute lebenden Formen sind die äußersten Zweigspitzen dieses Baumes. Als solche können sie nicht voneinander abstammen, nicht der Löwe vom Tiger, der Mensch vom Schimpanse; sondern ähnliche Arten stammen von gemeinsamen, jetzt ausgestorbenen Urahnen ab.

Diese Lehre wurde vor allem verbreitet durch *Charles Darwin* (1809—1882, Enkel von Erasmus Darwin). Dieser englische Forscher suchte die Ursachen für die Veränderlichkeit der Arten aufzufindig zu machen. Er stellte folgende Lehre auf: Von jeder Art werden mehr Individuen geboren, als eine gewisse Wohnfläche zu ernähren vermag. Die Übervölkerung ist die Ursache eines scharfen Konkurrenzkampfes um die Nahrung („Kampf

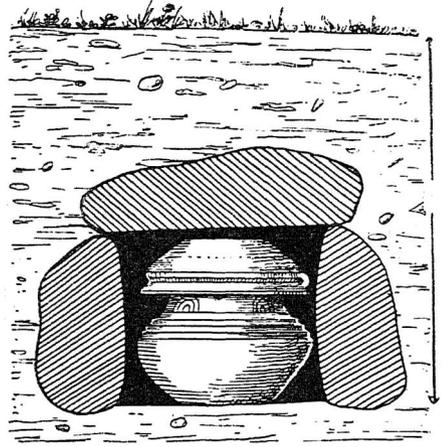


Abb. 233. Durchschnitt durch ein Grab der Bronzezeit; jüngerer Lausitzer Typus. Innen eine Urne mit Deckel. Dobera b. Radeburg. (Orig.-Z. v. Deichmüller.)



Abb. 234. Buckelurne aus einem älteren Gräberfeld der Bronzezeit. Nünchritz b. Riesa. (Orig.-Z. v. Deichmüller.)

ums Dasein“). In diesem Wettbewerb muß notwendigerweise ein Teil der Individuen zugrunde gehen. Erhalten bleiben nur diejenigen, die durch irgendeine günstige Eigenschaft den anderen gegenüber im Vorteil sind. Solche Individuen vermehren sich, vererben die guten Eigenschaften auf ihre Nachkommen. So erfolgte eine stete „Auslese des Passendsten“ und damit eine Vervollkommnung der Rasse.

Viel ist seitdem für und gegen diese Theorie geschrieben worden. Während die einen die möglichst lückenlose Verbindung der Arten zu einem Stammbaum herzustellen suchten (z. B. Ernst Haeckel), forschten die anderen nach weiteren Ursachen für die Anpassung. So ist die Lehre gegenwärtig längst nicht mehr

in ihrem alten Gewande; vieles ist ganz abgelehnt, anderes berichtigt oder besser begründet. Aber in einem Satze sind heute wohl die meisten Naturforscher einig:

Seit die Erde organisches Leben trägt, ist es einer steten Veränderung, und zwar im großen und ganzen einer Vervollkommnung unterworfen gewesen. Am Ende dieser Entwicklungsreihe, als Krone der Schöpfung, steht der Mensch, zwar nicht absolut vollkommen, aber mit der Fähigkeit zu unbegrenzter Weiterentwicklung in sich. Auch wir lebenden Menschen sind nur Zwischenglieder auf der Stufenleiter der Organismen — nach uns werden andere Geschlechter kommen, vollkommener, edler als wir!

„Es ist wahrlich eine großartige Ansicht, daß der Schöpfer den Keim des Lebens, das uns umgibt, nur wenigen oder nur einer einzigen Form eingehaucht habe, und daß, während unser Planet den strengsten Gesetzen der Schwerkraft folgend sich im Kreise schwingt, aus so einfachem Anfange sich eine endlose Reihe der schönsten und wundervollsten Formen entwickelt hat und sich noch immer entwickelt“ (Ch. Darwin).

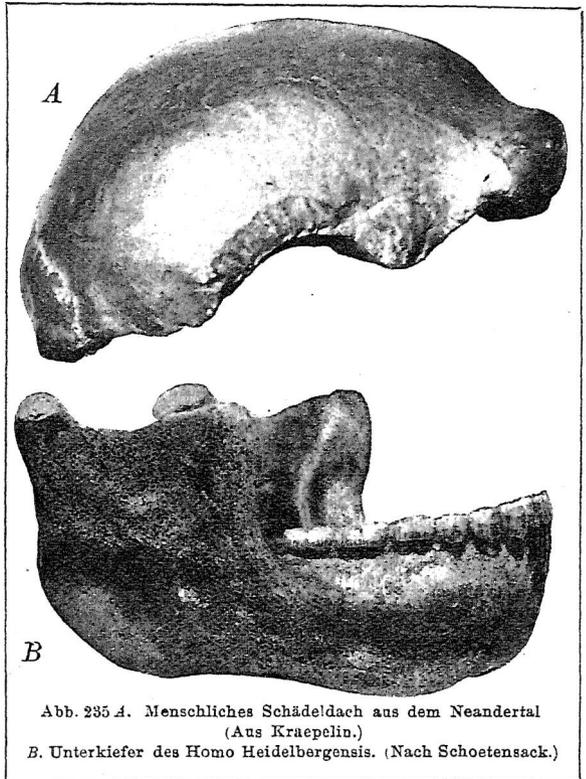


Abb. 235 A. Menschliches Schädeldach aus dem Neandertal
(Aus Kraepelin.)

B. Unterkiefer des Homo Heidelbergensis. (Nach Schoetensack.)

Grundzüge der allgemeinen Mineralogie.

Erkennung und Einteilung der Mineralien. Wer Mineralien selbst bestimmen will, muß dabei die physikalischen und chemischen Eigenschaften beachten. Zu ersteren gehören Gestalt, Härte, Dichte (spezifisches Gewicht), Spaltbarkeit, Farbe, Glanz, Durchsichtigkeit, magnetisches und elektrisches Verhalten. Die zuerst genannten Eigenschaften bedürfen einer eingehenderen Berücksichtigung.

I. Kristallformen.

150. Wesen der Kristalle. Bei der Betrachtung des Schwefels stellen wir durch Versuche fest, daß er je nach der Temperatur in 3 Aggregatzuständen: 1. fest, 2. flüssig, 3. gasförmig auftreten kann. Geht flüssiger Schwefel durch Abkühlung in den festen Zustand über, so können wir ihn entweder als eine gummiartig zähe, dehnbare Masse (durch Eingießen in Wasser) oder in Form langer vierkantiger Säulen (beim Erstarren im Tiegel) erhalten. Die erste Abart heißt gestaltlos oder *amorph*, die zweite *kristallisiert*. Darnach ist das erste Merkmal eines *Kristalls* seine Begrenzung durch ebene, mathematisch bestimmbare Flächen. Aber dieses Merkmal genügt nicht. Ein aus Glas geschliffener Würfel, Kristallmodelle aus Glas oder Holz sind noch keine Kristalle. Ein echter Kristall muß durch die natürlichen Wachstumsvorgänge aus einer bestimmten chemischen Substanz hervorgegangen sein. In der Natur bilden sich Kristalle unter verschiedenen Bedingungen: 1. durch Ausscheidung aus gesättigter wässriger Lösung (Steinsalz, 20), 2. Erstarren aus dem Schmelzfluß (Leuzit, 103), 3. Niederschlagen (Sublimation) aus dem gasförmigen Zustand (Schwefel, 105), 4. chemische Wechselzersetzung (Chlorkalziumlösung + Schwefelsäure). Zerschlägt man einen Steinsalzwürfel, so zeigen alle Bruchstücke rechtwinklig aneinanderstoßende, ebene Begrenzungsflächen. Die „Spaltbarkeit“ des Steinsalzes steht also mit der Kristallform in inniger Beziehung. Ähnliche Beziehungen werden wir auch bei der Betrachtung anderer physikalischer Eigenschaften der Mineralien nachweisen. Daraus ergibt sich folgende wissenschaftliche Erklärung für das Wesen der Kristalle: *Ein Kristall ist ein chemisch gleichartig zusammengesetzter, von ebenen Flächen begrenzter Körper, der durch natürliches Wachstum der Substanz gebildet worden ist und dessen physikalische Eigenschaften mit der äußeren Form in gesetzmäßigen Beziehungen stehen.* (Ursprünglich bezeichnete das griechische Wort *krystallos* das Eis; erst später übertrug man es auf die glashellen Quarze in den Granithöhlungen der Alpenberge, weil man sie für völlig hart und unschmelzbar gewordenes Eis hielt.)

Beispiele für den *amorphen* Zustand bieten: Siegellack, Baumharz, Malzucker, Pech, Glas, Opal, Bernstein.

Aufgaben: 1. Stelle eine heiß gesättigte Lösung von Alaun her und lasse sie möglichst langsam — z. B. in einer Kochkiste — erkalten. Wähle unter den entstehenden Kristallen den besten aus und lasse ihn fortwachsen, während die übrigen wieder in Lösung gebracht werden. 2. Bringe einen zerbrochenen Alaunkristall in die Lösung. 3. Stelle dir aus dem Schmelzfluß kugelförmige Alaunstücke her (es gibt hierzu käufliche Glasröhren mit Kugelansatz!) und lasse sie ebenfalls in gesättigter Lösung weiterwachsen (nach K. Schulz). 4. Stelle Schwefelkristalle aus Schwefelkohlenstofflösung und aus Schmelzfluß her. 5. Bringe Chlorkalziumlösung mit verdünnter Schwefelsäure zusammen und beobachte die Bildung der Gipssäulen. Wiederhole den Versuch mit zwei Tropfen der genannten Flüssigkeiten auf einem Objektglas und verfolge das Anschließen der Nadeln unter dem Mikroskop. 6. Gieße geschmolzenen Zucker (eingedickte Zuckerlösung) auf einer Glasplatte breit. Die Masse erstarrt gelblich durchsichtig, amorph; nach einiger Zeit bilden sich darin aber zierliche Sternchen.

151. Begrenzungselemente. Die drei Begrenzungselemente eines Kristalls sind: 1. *Flächen*, 2. *Kanten*, 3. *Ecken*. Das gegenseitige Zahlenverhältnis wird durch das Gesetz bestimmt: *Die Summe der Ecken und Flächen ist gleich der Kantenzahl + 2*; $E + F = K + 2$. Kristallformen, die nur von einer Flächenart begrenzt werden, heißen *einfache* Kristalle (z. B. Würfel). Formen mit verschiedenartigen Flächen heißen *zusammengesetzte* Kristalle oder *Kombinationen* (lat. *combinatio* = Zusammensetzung). Fügen sich zwei gleiche Formen so zusammen, daß sie unter gesetzmäßigem Winkel einander entweder durchkreuzen (Flußspat, Abb. 128) oder in verwendeter Stellung aneinanderstoßen (Gips, Abb. 24), so nennt man dies *Zwillinge*.

Solche Begrenzungsflächen, die mit parallel laufenden Kanten aneinanderstoßen, die also alle einer im Innern des Kristalls gedachten Linie parallel liegen, bilden eine *Zone*. Stellen wir den Kristall so auf, daß eine der Zonenflächen für unser Auge spiegelnd erscheint und drehen dann den Körper um die gedachte Linie, die *Zonenachse*, so spiegeln nacheinander alle zur gleichen Zone gehörigen Flächen.

Zwei Kristallflächen, die an einer Kante zusammenstoßen, schließen zwischen sich einen Flächenwinkel ein, dessen Größe sich am einfachsten mit einem scherenartigen Instrument nebst Gradeinteilung feststellen läßt. Ein solches Instrument (Abb. 236) heißt *Anlegegoniometer*.

Durch viele Messungen hat man gefunden, daß dieser Winkel zwischen

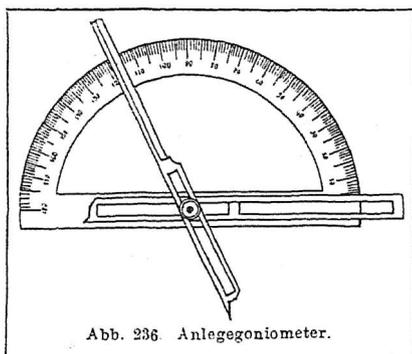


Abb. 236 Anlegegoniometer.

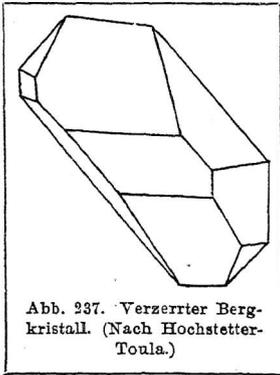


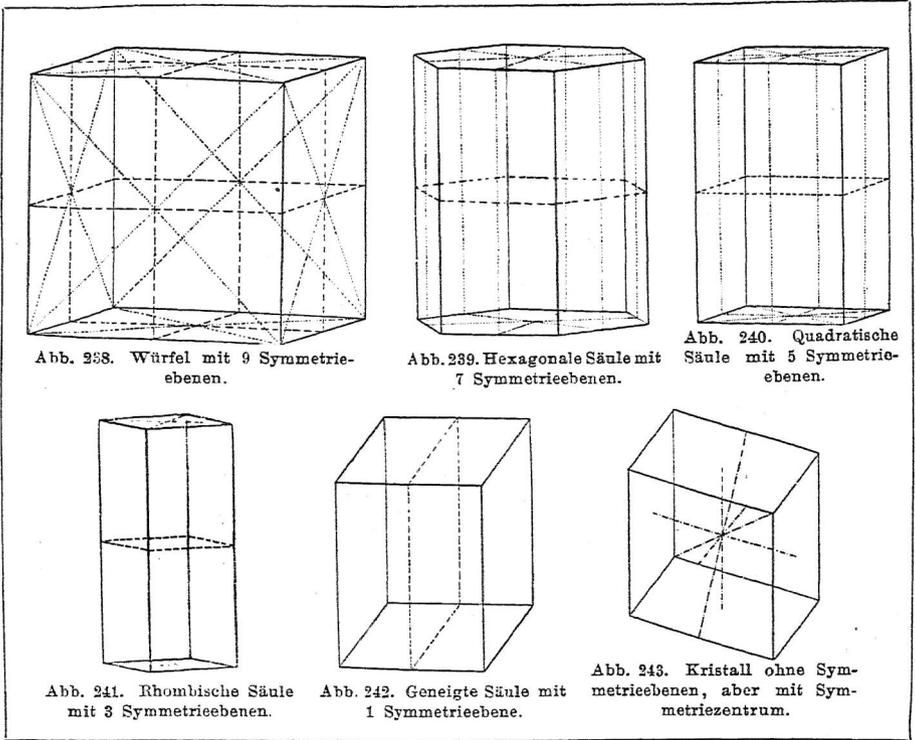
Abb. 237. Verzerrter Bergkristall. (Nach Hochstetter-Toula.)

gleichartigen Flächen stets dieselbe Größe besitzt. So beträgt an einem einfachen Bergkristalle, wie Abb. 44, der Winkel zwischen je zwei Prismenflächen immer 120° , der Winkel zwischen Prismen- und Pyramidenfläche $133^{\circ} 44'$. Selbst bei *verzerrten* Formen, wie sie Abb. 237 zeigt, wiederholen sich diese Winkelgrößen. Die Flächen sind also nur parallel mit sich selbst verschoben. Die wunderbare Gesetzmäßigkeit läßt sich im ganzen Reiche der Kristalle nachweisen (*Gesetz von der Konstanz der Winkel*).

152. Symmetrie der Kristallformen. Kann man einen mathematischen Körper so in zwei Hälften zerschneiden, daß die eine das Spiegelbild der anderen ist, so heißen die Teile *symmetrisch* (gr. syn = gemeinsam, métron = Maß). Die Schnittfläche heißt Hauptschnitt, Spiegelebene oder *Symmetrieebene*. Vergleiche hierzu die Abb. 23, 78, 129. Je nach dem Grade der Symmetrie kann ein Kristall 0, 1, 3, 5, 7 oder 9 Symmetrieebenen haben. (Abb. 238—243.) Jede Symmetrieebene hat die Richtung einer vorhandenen oder möglichen Kristallfläche. Als *Hauptsymmetrieebene* bezeichnet man diejenige Schnittebene, auf der mehrere gewöhnliche Symmetrieebenen senkrecht stehen.

Nimmt man einen Kristall wie Abb. 239 und dreht ihn um die Achse, die sich als Schnittlinie der senkrechten Symmetrieebenen ergibt, so bietet die Form dem Auge während einer Drehung um 360° sechsmal den gleichen Anblick. Auch in diesem Falle spricht man von einer Symmetrie, nicht nach der Ebene, sondern nach einer *Achse*. Die zur Drehung dienende Mittellinie heißt *Symmetrieachse*. Bietet der Kristall wie in unserem Beispiel sechsmal den gleichen Anblick, so heißt die Symmetrieachse *sechszählige*. Weise an beistehenden Abb. nach, daß es auch *zwei*, *drei*- und *vierzählige* Symmetrieachsen gibt! Stets ist der Durchschnitt zweier Symmetrieebenen gleichzeitig eine *Symmetrieachse*. Die *Normale* auf einer Hauptsymmetrieebene heißt *Hauptsymmetrieachse*. In der Regel verbindet eine Symmetrieachse zwei entsprechende Punkte an der Kristalloberfläche. Geschieht dies nicht, wie z. B. in Abb. 244, so spricht man von einer *polaren Achse*.

In jedem Parallelogramm halbieren die Diagonalen einander. Ebenso wird jede Gerade, die durch den Schnittpunkt der Diagonalen bis an die Gegenseiten gelegt wird, in diesem Punkte halbiert (Kongruenzbeweis!). Der gemeinsame Halbierungspunkt stellt das *Symmetriezentrum* der betreffenden Figur dar. In entsprechender Weise kann man auch an *Kristallkörpern* ein Symmetriezentrum nachweisen, in dem alle Verbindungslinien gegenüberliegender Ecken oder gleichliegender Punkte der Kanten und Flächen einander halbieren (Abb. 243). Jeder mathematische Körper, der parallele Flächenpaare aufweist, muß auch eine solche *zentrische Symmetrie* besitzen.



Wir unterscheiden demnach *drei Arten* der Symmetrie:

1. Symmetrie nach Ebenen (S.-E.).
2. " " Achsen (S.-A.).
3. " " einem Zentrum (S.-Z.).

Stellt man alle denkbaren Fälle der Symmetrie nach Ebenen, Achsen und Zentrum zusammen, so ergeben sich die 32 *Kristallklassen*, die die wissenschaftliche Kristallographie unterscheidet.

Der goldgelbe Eisenkies kristallisiert häufig in Würfeln, deren Flächen nicht gleichmäßig glänzen, sondern mit parallelen Liniensystemen bedeckt sind (Abb. 152). Rein geometrisch betrachtet, weist der Würfel die denkbar vollkommenste Symmetrie auf. Fordert man aber für Symmetrie auch die spiegelbildlich gleiche Anordnung der beobachteten Liniensysteme, so ist der Symmetriegrad geringer (Nachweis!). In diesem Falle muß man von der höheren *mathematischen* eine niedrigere *physikalische Symmetrie* unterscheiden. Letztere ist für die Beurteilung der Kristallformen außerordentlich wichtig. Untersuche die physikalische Symmetrie eines Bergkristalls nach Abb. 45!

153. Lage der Kristallflächen. Die Lage einer Ebene im

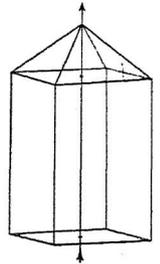
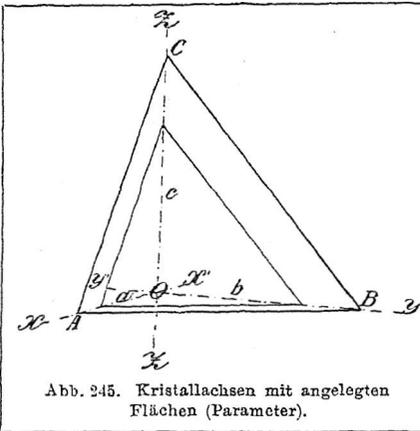


Abb. 244. Polare Symmetrieachse.



Dreieck zu sein!) Die auf den unendlich langen Koordinaten X, Y, Z aufgetragenen endlichen Strecken OA, OB, OC heißen in der Kristallographie *Parameter* (gr. parametréo = ich messe ab). Man bezeichnet sie kürzer durch die Buchstaben a, b, c . Die Lage des Dreiecks ABC kann mathematisch also durch die drei Parameter ausgedrückt werden, und zwar stehen die Parameterzahlen stets in einem *irrationalen* Verhältnis, etwa $a:b:c = 0,8897 \dots : 1 : 1,2792 \dots$

Verlängert man die drei Koordinaten über den Schnittpunkt O rückwärts, so erhält man ein *Achsenkreuz* mit positiven Halbachsen OX, OY, OZ und negativen Halbachsen OX', OY', OZ' . Das Achsenkreuz besitzt acht Räume oder *Oktanten*, in denen man Flächen anlegen kann. Würde man das obige Parameterverhältnis in alle Oktanten übertragen, so erhielte man acht kongruente Dreiecke mit folgenden Parametern (Abb. 246):

$$\begin{aligned}
 &a : b : c \\
 &a : b : -c \\
 &a : -b : c \\
 &a : -b : -c \\
 &-a : b : c \\
 &-a : b : -c \\
 &-a : -b : c \\
 &-a : -b : -c.
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis ist ein allseitig geschlossener, von 8 kongruenten Dreiecken begrenzter Körper. Die Stereometrie bezeichnet dessen obere Hälfte als eine *Pyramide*. Der konstruierte Körper besteht demnach aus zwei mit ihren Grundflächen zusammengefügt, gleichen Pyramiden. Die Kristallographie nennt ihn deshalb *Doppelpyramide*, *Bipyramide*, vielfach — wenn auch nicht richtig — *Pyramide* schlechthin. Die mathematische Bezeichnung der Doppelpyramide durch obige 8 Parameterverhältnisse stammt von dem Mineralogen *Christian Samuel Weiß* (1780—1856). Da hierbei immer wieder

— abgesehen vom Vorzeichen — dieselben Werte auftreten, kann man sich auch der zusammenfassenden, für alle 8 Flächen gültigen Formel ($a : b : c$) bedienen.

Ein anderer Mineralog, *Carl Friedrich Naumann* (1797—1873), führte eine Bezeichnung ein, die nicht die einzelne Fläche, sondern den Inbegriff aller gleichen Flächen, also den fertigen Körper, in eine Formel oder ein *Symbol* faßt. Der vorliegenden Doppelpyramide gibt er z. B. das Zeichen *P*. Naumanns Symbole sind vielfach kürzer und bequemer, führen aber bisweilen zu irrümlichen Auffassungen und werden neuerdings mehr und mehr aufgegeben.¹⁾

154. Abgeleitete Kristallformen. In Abb. 245 ist noch ein

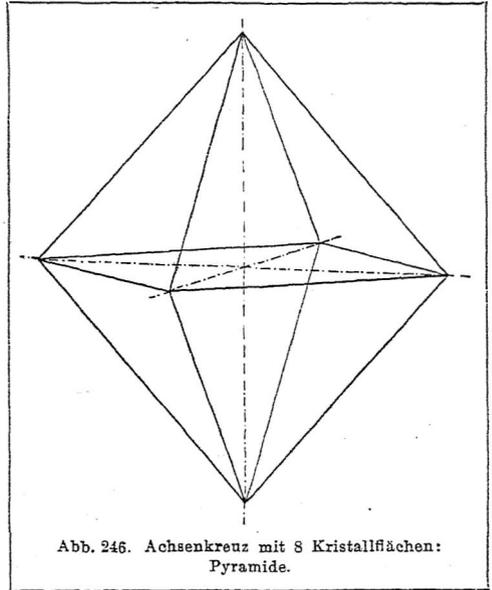


Abb. 246. Achsenkreuz mit 8 Kristallflächen: Pyramide.

zweites kleineres Dreieck eingezeichnet, das durch die Parameter $\frac{a}{n} : \frac{b}{n} : \frac{c}{n}$ bestimmt wird; d. h. alle Abschnitte sind durch ein und dieselbe Zahlengröße dividiert worden. In diesem Falle wird die Fläche lediglich parallel mit sich selbst verschoben; ihre Lage zu den Achsen, die allein maßgebend ist, bleibt aber völlig unverändert, und der neue Körper ist das verkleinerte Abbild des ersten.

Andere Verhältnisse erläutert Abb. 247. Behalten wir die Parameter a und b bei, multiplizieren aber den Abschnitt c mit $\frac{3}{2}$, so entsteht die viel steiler liegende Fläche $a : b : \frac{3}{2}c$ oder allgemein $a : b : mc$. Acht solche Dreiecke ergeben eine spitze Doppelpyramide (nach *Naumann* $\frac{3}{2}P$, allgemein mP). In ähnlicher Weise lassen sich Doppelpyramiden $a : b : \frac{1}{2}c$ oder $a : \frac{3}{2}b : c$ oder $\frac{1}{2}a : b : c$ usw. ableiten. Kommt irgend ein Mineral in verschiedenen Kristallformen vor, so hat man nur von einer derselben, der *Grundform*, das Parameterverhältnis zahlenmäßig festzustellen. Alle anderen Parameter lassen sich von diesem durch *Multiplikation mit einfachen, rationalen Koeffizienten* (z. B. $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, 2,

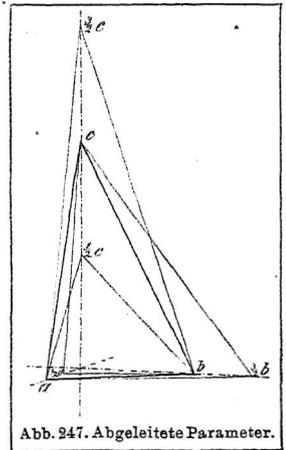


Abb. 247. Abgeleitete Parameter.

1) Die in wissenschaftlichen Werken jetzt meist angewandten Zeichen von W. H. Miller sind für die Schule zu schwierig. Ein Beispiel zu ihrer umständlichen Entwicklung siehe auf Seite 188.

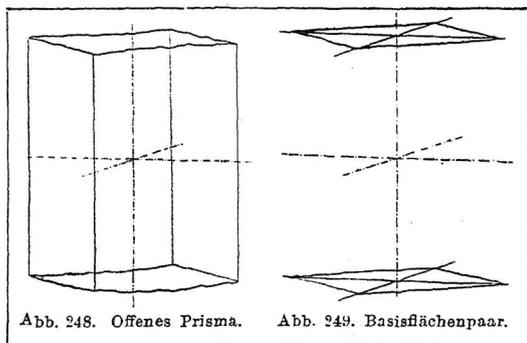


Abb. 248. Offenes Prisma.

Abb. 249. Basisflächenpaar.

usw.)¹⁾ ableiten. Dieses zweite Grundgesetz, das die ganze Kristallwelt beherrscht, ist von dem französischen Gelehrten *Hauy* (1743—1822) gefunden worden. (*Gesetz der rationalen Ableitungskoeffizienten.*)

Durch fortgesetzte Vergrößerung des Wertes c gelangt man zu immer steileren Doppelpyramiden und schließlich zu

dem Grenzwert ∞c ; d. h. die zwei Linien ac und bc treffen die Achse c überhaupt nicht mehr, sondern laufen parallel mit ihr. Auf diese Weise entsteht eine ganz neue Körperform, eine oben und unten offene *Säule* oder ein *Prisma* mit dem Parameterverhältnis $a : b : \infty c$ (Abb. 248). Durch Vergrößerung des Wertes für a oder für b gelangt man in ähnlicher Weise zu quer oder längs liegenden Prismen (Abb. 258 und 259).

Läßt man umgekehrt die Pyramiden immer flacher werden, so ist der Grenzwert Null, also das Parameterverhältnis, $a : b : 0c$. Die Flächen, die dadurch entstehen, schneiden nur die Achse c , laufen aber mit a und b parallel, so daß man ihre Formel auch schreiben könnte $\infty a : \infty b : c$. Das Ergebnis ist streng genommen noch kein Körper, sondern ein paralleles Flächenpaar von unbestimmter Umgrenzung, die *Endflächen* oder das *Basisflächenpaar* (Abb. 249). Mit dem ebenfalls offenen Prisma kombiniert ergibt sich erst eine geschlossene Form, ein wirkliches Prisma. Entsprechend dem Basisflächenpaar entsteht aus dem Parameterverhältnis $a : \infty b : \infty c$ das *Querflächenpaar*, aus dem Verhältnis $\infty a : b : \infty c$ das *Längsflächenpaar* (Abb. 260, 261).

155. Die sechs Achsenkreuze. Zwar genügt zur Festlegung einer Fläche im Raume jedes beliebige Kreuz aus mindestens 3 Geraden, ohne Rücksicht auf die Winkel, unter denen sie einander schneiden. In der Kristallographie benutzt man aber zu diesem Zwecke ganz bestimmte Linien, die für den Kristallaufbau, für seine Symmetrieverhältnisse von besonderer Bedeutung sind, und zwar — soweit möglich — *Symmetrieachsen* (vgl. Abschnitt 152!). Die Länge dieser Achsen wird durch das jedem Mineral eigentümliche Grund-

1) Miller würde das Parameterverhältnis $1a : 2b : 3c$ folgendermaßen umbilden: 1. für die Koeffizienten deren reziproke Werte $\frac{1}{1}a : \frac{1}{2}b : \frac{1}{3}c$, 2. Gleichnamigmachen der Brüche: $\frac{1}{6}a : \frac{1}{6}b : \frac{1}{6}c$, 3. Nebeneinanderschreiben der Zähler oder Indizes 6 3 2. Oder andere

Entwicklung: 1. Dividieren durch das Produkt aller Koeffizienten: $\frac{1a}{1 \cdot 2 \cdot 3} : \frac{2b}{1 \cdot 2 \cdot 3} : \frac{3c}{1 \cdot 2 \cdot 3}$

2. Kürzen der Ausdrücke: $\frac{a}{2 \cdot 3} : \frac{b}{1 \cdot 3} : \frac{c}{1 \cdot 2} = \frac{a}{6} : \frac{b}{3} : \frac{c}{2}$, 3. Schreiben der Nenner als Indizes: 6 3 2.

verhältnis der Parameterwerte bestimmt. Ebenso wird der Schnittwinkel, soweit er nicht festliegt, einer Mineralgrundform entnommen.

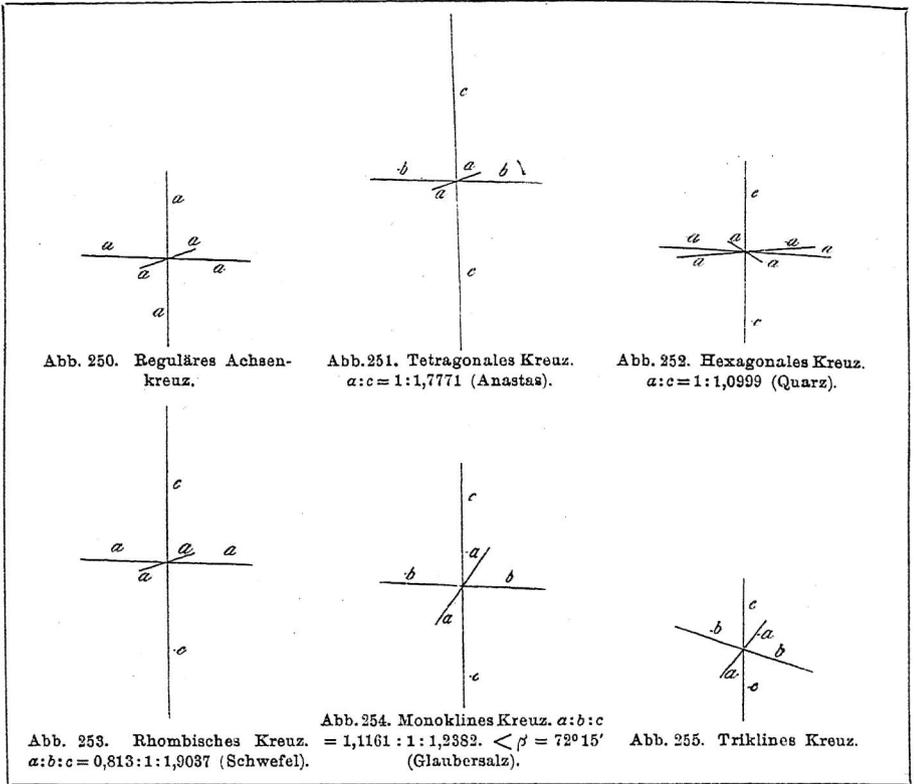
Es ist möglich, sämtliche vorkommenden Kristallformen auf 6 Achsenkreuze zurückzuführen. Unter Verwertung dieser Kreuze sind wir in der Lage, die 32 Symmetrieklassen der Kristalle in 6 *Kristallsysteme* zusammenzufassen. Sie lassen sich zu folgender Übersicht gruppieren:

- I. Die Achsen sind gleichwertig:
 - 3 gleichlange Achsen schneiden einander unter rechten Winkeln:
 1. Reguläres System. (Abb. 250)
- II. Die Achsen haben 2 verschiedene Werte:
 - a) 2 gleichwertige Achsen schneiden einander rechtwinklig und werden von einer dritten — längeren oder kürzeren — rechtwinklig geschnitten:
 2. Tetragonales System. (Abb. 251)
 - b) 3 gleichwertige Achsen schneiden einander in einer Ebene unter 60° ; die vierte, von abweichender Länge, steht rechtwinklig darauf:
 3. Hexagonales System. (Abb. 252)
- III. Die Achsen haben 3 verschiedene Werte:
 - a) Sie schneiden einander rechtwinklig:
 4. Rhombisches System (Abb. 253)
 - b) 2 Achsen (a und c) schneiden einander schiefwinklig ($\neq \beta$); die dritte (b) schneidet die beiden anderen rechtwinklig:
 5. Monoklines System. (Abb. 254)
 - c) Alle 3 Achsen schneiden einander schiefwinklig:
 6. Triklines System (Abb. 255).

Die 6 Kristallsysteme.

156. Rhombisches System. Wir stellen das rhombische System an die Spitze der Betrachtung, weil es am meisten unseren allgemeinen Erläuterungen entspricht (153, 154). Die Doppelpyramide Abb. 246 läßt sich durch Symmetrieebenen in spiegelbildliche Hälften zerlegen, nämlich nach den drei am Bilde sichtbaren Rhomben. Sie besitzt auch 3 Symmetrieachsen oder Drehachsen, die wir zur Konstruktion des Achsenkreuzes wählen. Die drei Kristallachsen schneiden einander unter rechten Winkeln. Ihr Längenverhältnis ist stets irrational, z. B. beim Schwefel (Abb. 253) $a : b : c = 0,813 : 1 : 1,9037$. Man pflegt stets der b -Achse den Wert 1 zu geben und sie als *Querachse* zu bezeichnen; die in der Regel kürzere Achse a ist dann *Längsachse*, die Achse c die *Vertikalachse*.

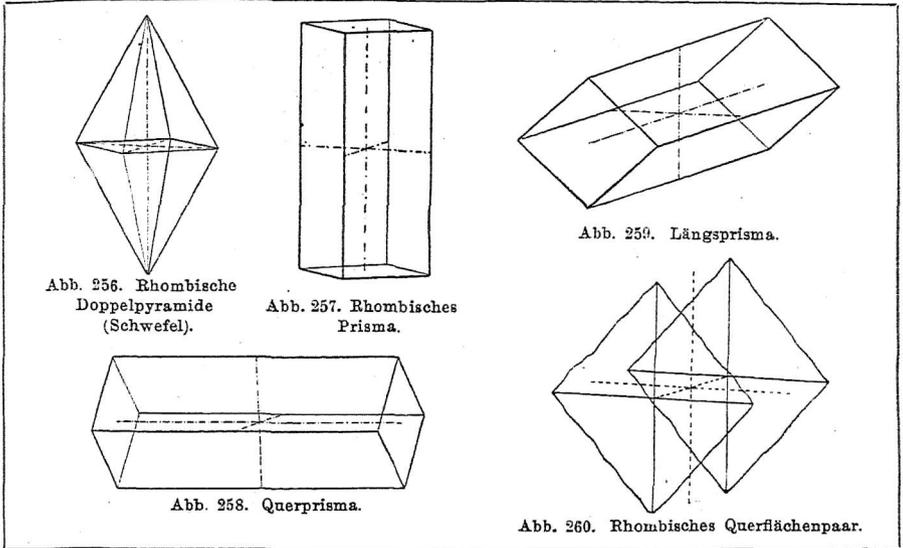
Durch Benutzung der am jeweilig zu untersuchenden Mineral am häufig-



sten vorkommenden Grundwerte $a : b : c$ erhält man die Grund-Doppelpyramide (Abb. 256). Durch Multiplikation des Wertes c mit einer rationalen Zahl $m (> 1)$ entstehen *abgeleitete* Doppelpyramiden von spitzerer Form. Multipliziert man den Wert für b , so erhält man breite Formen. Die Verzerrung in der Richtung der a -Achse ergibt eine dritte Gruppe abgeleiteter Doppelpyramiden.

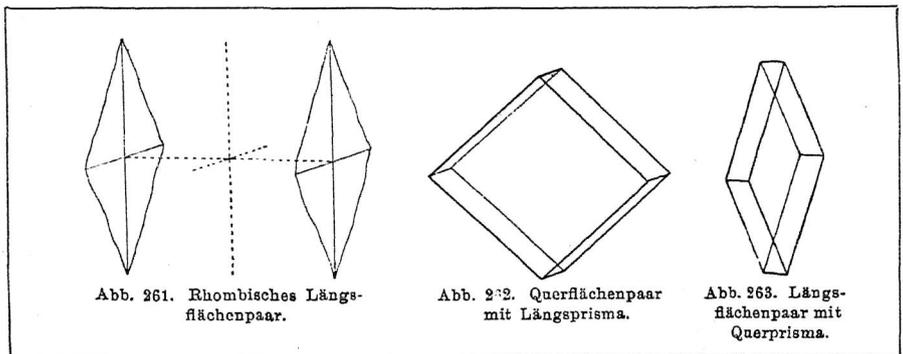
Ist der Koeffizient m für $c = \infty$, so entsteht das *Vertikalprisma* $a : b : \infty c$ (Abb. 257). Wird $b = \infty$, so erhalten wir das *Querprisma* $a : \infty b : c$. Das Verhältnis $\infty a : b : c$ ergibt das *Längsprisma*. Alle 3 Prismen sind zunächst *offene* Formen und als solche nicht vorkommend. Sie bedürfen eines Abschlusses durch „Deckel“. Diese werden gebildet durch die 3 *Endflächenpaare* (Abb. 249, 260, 261). Das Vertikalprisma wird abgeschlossen durch das Basisflächenpaar $\infty a : \infty b : c$ (Abb. 249), das Querprisma (Abb. 258) durch das *Längsflächenpaar* $\infty a : b : \infty c$, das Längsprisma durch das *Querflächenpaar* $a : \infty b : \infty c$ (Abb. 260).

Von dem vertikalen Grundprisma $a : b : \infty c$ lassen sich andere Prismen ableiten, indem man den Wert für a oder b multipliziert, z. B. $\frac{1}{2} a : b : \infty c$



oder $a : 2b : \infty c$ usw. Ebenso lassen sich die anderen beiden Prismen beliebig umändern.

Kombinationen. Eine *einfache* Form bildet im vorigen Abschnitt lediglich die Doppelpyramide. Alle wirklich auftretenden Prismen haben bereits zweierlei verschiedene Kristallflächen, sind demnach *zusammengesetzte* Formen oder *Kombinationen*. Häufige Kombinationen des rhombischen Systems sind ferner die beiden Abb. 262 und 263, in denen die Prismen sehr kurz ausgebildet sind und Endflächenpaare vorherrschen. In Abb. 37 sind kombiniert: Vertikalprisma, Längsprisma, Längsflächenpaar, ebenso in Abb. 141. Abb. 129 zeigt zwei Vertikalprismen ($a : b : \infty c$ und $2a : b : \infty c$) und die Doppelpyramide $a : b : c$; Abb. 153 das Vertikalprisma und das Längsprisma $\infty a : b : \frac{1}{4}c$. Treten alle 3 Endflächenpaare gleichzeitig auf, so entsteht ebenfalls eine geschlossene Kristallform, die Abb. 264 wiedergibt.



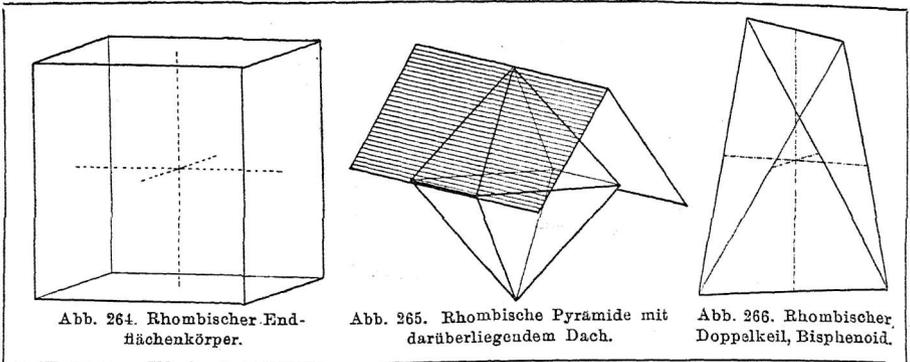


Abb. 264. Rhombischer Endflächenkörper.

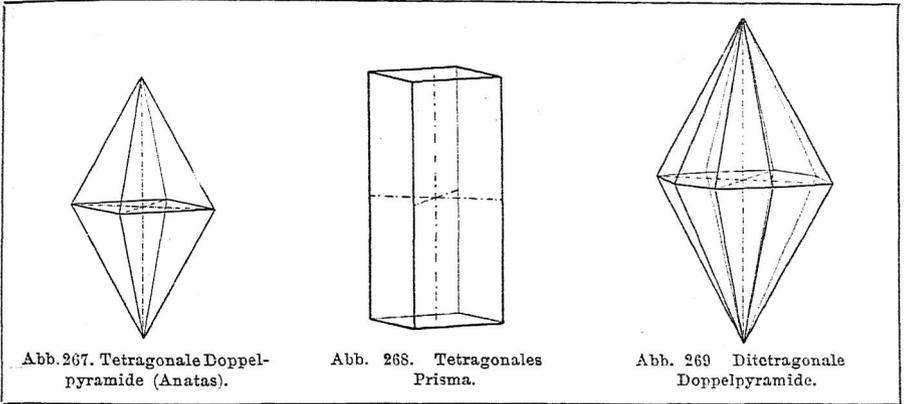
Abb. 265. Rhombische Pyramide mit darüberliegendem Dach.

Abb. 266. Rhombischer Doppelkeil, Bisphenoid.

157. *Halbflächenner*. Wir nehmen das Pappmodell einer rhombischen Bipyramide zur Hand und stülpen über die Spitze der oberen Pyramide einen Buchdeckel und zwar derart, daß die beiden Deckelhälften sich völlig zwei gegenüberliegenden Pyramidenflächen anschmiegen. Jetzt ist die „Turmform“ der Pyramide wieder verschwunden; an ihre Stelle ist ein Dach getreten, dessen First durch die ehemalige Turmspitze geht und mit zwei Seiten der Pyramidengrundfläche parallel läuft (Abb. 265). Die beiden Dachflächen kann man sich durch Fortwachsen der zwei von ihnen bedeckten Pyramidenflächen entstanden denken, während gleichzeitig die zwei anderen Pyramidenflächen verschwunden sind. Das ganze zweiflächige Gebilde, das wir bisher als Dach aufgefaßt haben, entspricht dem in der Technik als *Keil* bezeichneten Werkzeuge. Es wird deshalb in der Kristallographie *Sphenoid* genannt (gr. *sphen* = Keil). Da eine Doppelpyramide vier gegenüberliegende Dreieckspaare besitzt, lassen sich an ihr auch vier verschiedene Keile erzeugen. Läßt man gleichzeitig an der oberen und unteren Pyramide je ein Sphenoid entstehen und zwar so, daß die beiden Firstkanten nicht parallel laufen, sondern in demselben Winkel stehen, wie die Seiten der Pyramidengrundfläche, so erhält man einen geschlossenen Kristallkörper: einen *Doppelkeil* oder ein *Bisphenoid* (Abb. 266). Einen gleichen Körper, nur in anderer Stellung, erhält man durch Benutzung der anderen beiden Pyramidenflächenpaare. Man spricht deshalb von einem *positiven* und einem *negativen* Bisphenoid.

Vergleicht man den neugewonnenen Körper mit der ursprünglichen Pyramide, so sieht man, daß von ihr nur noch die Hälfte der Flächen — diese aber vergrößert — vorhanden sind; die andere Hälfte ist verschwunden. Man nennt derartig mathematisch abgeleitete Körper im Gegensatz zu den *Vollflächenern* oder *Holoedern* auch *Halbflächenner* oder *Hemieder* (gr. *hólos* = ganz, *hemi* = halb, *hédra* = Fläche). *Hemiedrische Formen besitzen stets einen geringeren Symmetriegrad*, als die dazu gehörigen Vollkörper. Während die rhombische Doppelpyramide drei Symmetrieebenen aufweist, hat das Bisphenoid gar keine, sondern nur noch drei zweizählige Drehachsen.

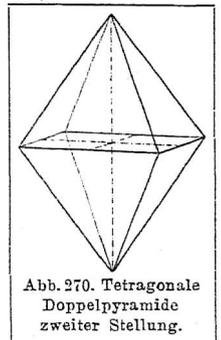
Beispiele für das rhombische Kristallsystem bieten: Schwefel, Markasit,



Kupferglanz, Arsenkies, Carnallit, Aragonit, Weißbleierz, Schwerspat, Anhydrit, Andalusit, Topas, Olivin, Kieselzink.

158. Quadratisches oder tetragonales System. Geht man von dem rhombischen Achsenkreuz aus und läßt die Werte für die Halbachsen a und b gleich werden, so erhält man ein Achsenkreuz mit dem Parameterverhältnis $a:a:c$. Durch Verbindung der Endpunkte des Achsenkreuzes entsteht eine *Doppelpyramide* (Abb. 267) mit *quadratischer* Grundfläche (gr. tetragonon = Quadrat). Je nachdem man den Wert für c vergrößert oder verkleinert, erzielt man aus der Grundpyramide eines bestimmten Minerals *abgeleitete* Formen von spitzerem oder stumpferem Aussehen. Wird der Wert für $c = \infty$, so entsteht das offene *Prisma* $a:a:\infty c$, zu dem als Abschluß das *Basisflächenpaar* $\infty a : \infty a : c$ gehört (Abb. 268). Die Symmetrie dieses tetragonalen Grundkörpers ist *größer*, als im rhombischen System; denn ich kann durch vier senkrechte Schnitte und einen Querschnitt spiegelbildliche Hälften erzeugen. Letzterer Schnitt ist eine *Hauptsymmetrieebene*. Außerdem gibt es eine vierzählige und vier zweizählige Drehachsen.

Der Wert a läßt sich außerdem mit einer endlichen Zahl n , z. B. $\frac{3}{2}$ multiplizieren. Trägt man an der Längsachse den Parameter a , an der Querachse dagegen $\frac{3}{2} a$ auf, so erhält man durch Verbindung dieser Punkte einen Rhombus. Von dem Parameterverhältnis $a:b$ im rhombischen System unterscheidet sich das Verhältnis $a:\frac{3}{2} a$ durch seine rationalen Werte. Da aber im tetragonalen System die Grundwerte für Längs- und Querachse gleich sind, muß man das gleiche Parameterverhältnis auch noch so anwenden, daß die Querachse a und die Längsachse $\frac{3}{2} a$ ist. Durch Schneiden der beiden verschieden liegenden Rhomben entsteht ein Achteck mit zweierlei Winkeln (Abb. 272). Dieses Achteck bildet die Grundfläche eines Kristallkörpers von dem



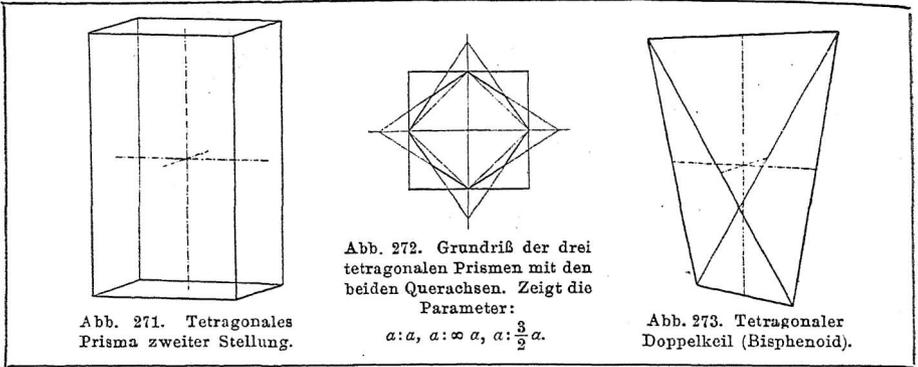


Abb. 271. Tetragonales Prisma zweiter Stellung.

Abb. 272. Grundriß der drei tetragonalen Prismen mit den beiden Querachsen. Zeigt die Parameter:
 $a : a, a : \infty a, a : \frac{3}{2} a.$

Abb. 273. Tetragonaler Doppelkeil (Bisphenoid).

Parameterverhältnis $a : \frac{3}{2} a : m c$. Es heißt *ditetragonale Doppelpyramide* (Abb. 269) (gr. dis = zweimal). Ihr entspricht ein *ditetragonales Prisma* $a : n a : \infty c$. Je größer man den Wert für n wählt, um so weiter rücken die stumpfen Kanten hinaus, um so stumpfer werden die ursprünglich schärferen Kanten. Wird der Wert $n = \infty$, so fallen zwei frühere Nachbarflächen in eine Ebene; aus der achtseitigen Form wird eine vierseitige.

Sie unterscheidet sich aber von der früher beschriebenen Pyramide durch die Stellung: ihre Randkanten stehen rechtwinklig zu den beiden a -Achsen (vgl. Abb. 270). Man nennt deshalb eine Form mit dem Parameterverhältnis $a : \infty a : m c$ eine quadratische *Doppelpyramide zweiter Stellung*. Ihr entspricht das *Prisma zweiter Stellung* $a : \infty a : \infty c$ (Abb. 271).

In *Kombination* treten häufig auf: Prisma und Doppelpyramide erster Stellung (Abb. 146), dasselbe nebst Prisma zweiter Stellung (Abb. 147), Prisma zweiter Stellung mit Doppelpyramide erster Stellung (Abb. 274).

Von *hemiedrischen* Körpern ist am häufigsten das tetragonale *Bisphenoid*, das dem rhombischen ähnelt, aber rechtwinklig zueinander stehende Firstkanten besitzt (Abb. 273).

Zwillinge. Das Prisma mit Doppelpyramide kommt oft in eigentümlich geknickten Verwachsungen vor, die man beim Zinnerz als *Visiergruppen* bezeichnet. Die Form setzt sich aus zwei Kristallen zusammen, deren Achsenkreuze zueinander geneigt sind. Die Fläche, in der die beiden Einzelkristalle zusammenstoßen, heißt *Zwillingsebene*. Sie wird für den Doppelkristall zu einer neuen Symmetrieebene. Die Zwillingsebene ist stets eine mögliche Kristallfläche; in unserm Beispiel gehört sie einer Pyramide zweiter Stellung an (Abb. 148).

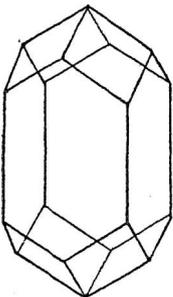
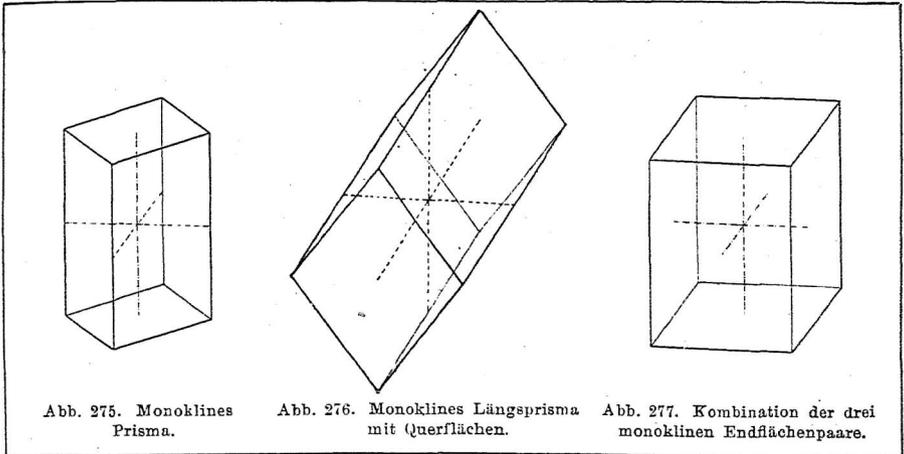


Abb. 274. Prisma 2. Stellung mit Pyramide 1. Stellung.

Beispiele für das tetragonale System: Zinnerz, Zirkon, Kupferkies.

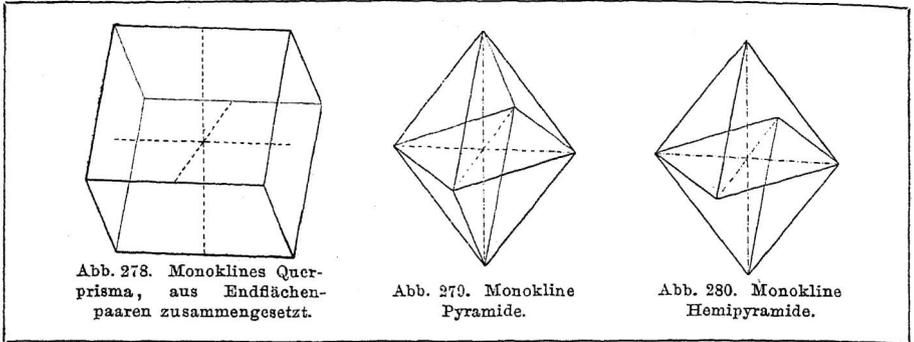
159. Monoklines Kristallsystem. Gehen wir von dem rhombischen Vertikalprisma aus und denken uns die dazu



gehörigen Basisendflächen nicht rechtwinklig, sondern nach vorn geneigt aufgesetzt, so gelangen wir zum *monoklinen Vertikalprisma* (gr. monos = 1, klinein = neigen). Ein derartiger Kristall besitzt nur noch eine Symmetrieebene, die ihn senkrecht von vorn nach hinten durchschneidet. Normal auf ihr steht eine zweizählige Symmetrieachse, die wir zur Konstruktion des Achsenkreuzes als *b*-Achse wählen. Die Achse *c* steht rechtwinklig auf ihr, *a* nach vorn geneigt, entsprechend der Neigung der Basisendfläche. Beim Gips beträgt der Neigungswinkel z. B. $72^{\circ} 15'$. Das Parameterverhältnis des monoklinen Vertikalprismas ist demnach $a : b : \infty c$, wozu noch der Wert für den Winkel β angegeben werden muß (Abb. 275).

Ein zweites Prisma, das *Längsprisma* $\infty a : b : c$ liegt parallel zur schrägen Achse und wird durch das *Querflächenpaar* $a : \infty b : \infty c$ abgeschlossen (Abb. 276). Einen weiteren prismatischen Körper erhält man aus der Kombination der Basisflächen und Querflächen mit dem seitlich liegenden *Längsflächenpaar* $\infty a : b : \infty c$ (Abb. 277). Das Parameterverhältnis $a : \infty b : c$ ergibt einen Körper, den man als *Querprisma* bezeichnen könnte. Aber er besitzt nicht wie das rhombische Querprisma vier gleiche Flächen, sondern ein breites und ein schmales Flächenpaar. Folglich ist dieser Körper streng genommen eine Kombination aus zwei Endflächenpaaren $a : \infty b : + c$ und $a : \infty b : - c$. Als seitlicher Abschluß dient das Längsflächenpaar (Abb. 278).

Das Verhältnis $a : b : c$ bezeichnet die monokline Doppelpyramide (Abb. 279). Da diese aber aus je zwei Paaren größerer und kleinerer Dreiecke gebildet wird, muß sie als eine Kombination erklärt werden. Manche Forscher setzen sie aus zwei Halbpymiden oder Hemipyramiden zusammen (Abb. 280). Andere lassen sie aus der Durchdringung zweier Prismenkörper hervorgehen (Abb. 281). Es würde sich dabei um Prismen handeln, die keiner der Achsen, sondern den Seiten der Symmetrieebene parallel liegen.

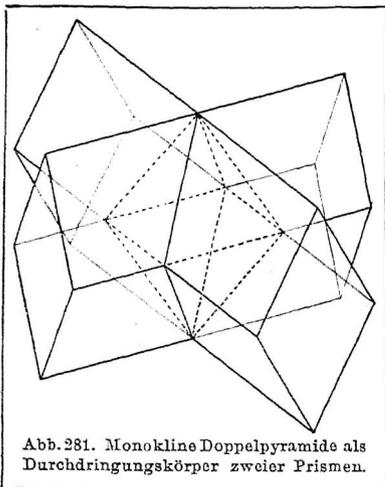


Einige Kombinationen zeigen die Abb. 282—284.

Beispiele für das monokline System: Gips, Augit, Hornblende, Orthoklas, Glimmer, Chlorit.

160. Triklines Kristallsystem. Im triklinen System stehen die drei Achsen schiefwinklig zueinander. Eine Symmetrie fehlt entweder vollständig oder sie beschränkt sich auf das Vorhandensein eines Symmetriezentrums (Abb. 243). Geschlossene einfache Kristallformen können nicht auftreten, sondern nur zusammengehörige *Flächenpaare*. So setzt sich eine *trikline Pyramide* aus vier voneinander unabhängigen Flächenpaaren — gelegentlich Viertelpyramiden genannt — zusammen (Abb. 285, 286). Ein triklinen Prisma besteht aus zwei Flächenpaaren nebst Basisendflächen (Abb. 287). Auch die Kombination der drei Endflächenpaare liefert einen prismatischen Körper (Abb. 288).

Beispiele: Triklone Feldspatarten (Albit [Abb. 289]), Anorthit und deren Mischungen, Kupfervitriol.



161. Reguläres Kristallsystem. Vollflächner. Das reguläre System ist das formenreichste von allen. Da in ihm alle 3 Achsen gleichwertig sind, weisen die holoedrischen Kristalle 9 Symmetrieebenen auf, dazu 6 zweizählige, 4 dreizählige und 3 vierzählige Drehachsen. (Nachweis am Würfel!) Es gehören hierher folgende Formen:

Oктаeder (gr. októ = 8, hédra = Fläche) (Abb. 290). Es entspricht der rhombischen Doppelpyramide, besitzt aber als Grundfläche ein Quadrat und als Seitenflächen gleichseitige Dreiecke. Sein Parameterverhältnis ist $a : a : a$. Beispiele: Magnet Eisen, Gold, Rotkupfererz, Flußpat.

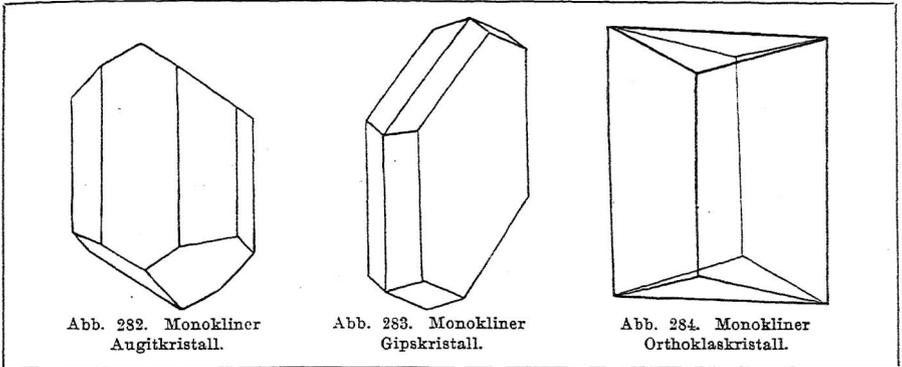


Abb. 282. Monokliner Augitkristall.

Abb. 283. Monokliner Gipskristall.

Abb. 284. Monokliner Orthoklaskristall.

Rhombendodekaeder (gr. dōdeka = 12), Granatoeder (Abb. 291), begrenzt von 12 kongruenten Rhomben. Jede Fläche trifft zwei Achsen in der Entfernung a und liegt der dritten Achse parallel, also $a : a : \infty a$. Granat, Magneteisen.

Hexaeder (gr. hex = 6), Würfel (Abb. 292). Sechs Quadrate, aus deren Mitten die Achsen austreten. Jede Fläche trifft nur eine Achse in a und liegt den andern beiden Achsen parallel, also $a : \infty a : \infty a$. Steinsalz, Flußspat.

Die 3 betrachteten Körper haben unveränderliche Parameter, können demnach in ihrer Form nicht abändern.

Pyramidenoktaeder (Abb. 293). Ein Oktaeder, das auf jeder Fläche eine flache dreiseitige Pyramide trägt, demnach von 3 · 8 gleichschenkligen Dreiecken begrenzt wird. (Daher auch der Name Triakisoktaeder.) Die Flächen treffen 2 Achsen in a , die dritte in etwas größerer Entfernung ma , wobei der Wert m eine rationale Zahl sein muß, z. B. $2a$, $3a$, $\frac{3}{2}a$. Parameter $a : a : ma$. Je mehr der Wert m sich der 1 nähert, um so mehr ähnelt der Körper einem Oktaeder. Je näher der Wert an ∞ kommt, um so steiler sind die Pyramiden. Schließlich fallen 2 mit der Basis zusammenstoßende Dreiecke in eine Ebene: es entsteht ein Rhombendodekaeder. Diamant.

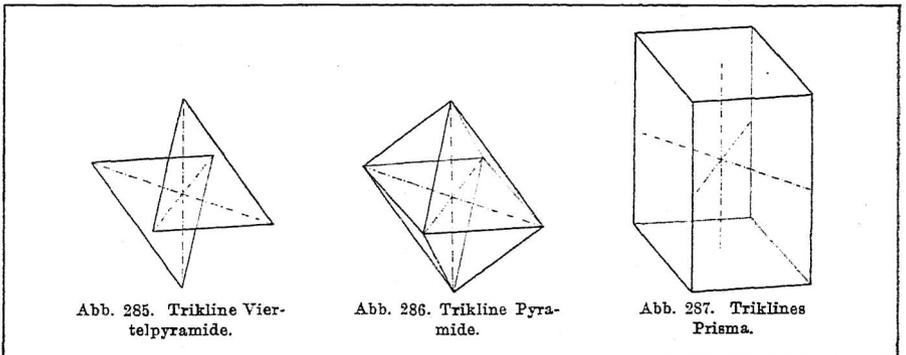


Abb. 285. Triklone Vier-terpyramide.

Abb. 286. Triklone Pyramide.

Abb. 287. Triklones Prisma.

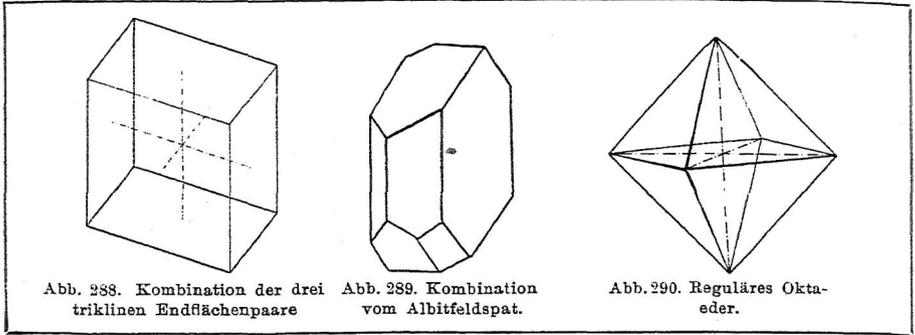


Abb. 288. Kombination der drei triklinen Endflächenpaare

Abb. 289. Kombination vom Albitfeldspat.

Abb. 290. Reguläres Oktaeder.

Pyramidenwürfel (Abb. 294). Ein Würfel mit aufgesetzten vierseitigen Pyramiden. Die Spitze der Dreiecke trifft die Achse in a . Verlängert man die Höhe der Dreiecke über die Basis hinaus, so schneidet sie die zweite Achse in na . Mit der dritten Achse liegen die Dreiecke parallel. Parameterverhältnis also $\infty a : a : na$. Flache Pyramiden leiten zum Würfel, steile zum Rhombendodekaeder über.

Ikositetraeder (gr. éikosi = 20, tetra = 4), Leuzitoeder (Abb. 295). 24 symmetrisch gebaute Vierecke (Deltoide). Die längeren Kanten treffen die eine Achse in a , die andere in ma ; die Flächen haben also die Lage $ma : a : ma$. Je größer der Wert m , um so würfelnäher ist der Körper; je kleiner, um so mehr nähert er sich dem Oktaeder. Leuzit (scheinbar!).

Hexakisoktaeder (gr. hexákis = 6 mal, októ = 8) (Abb. 296). In jedem Oktanten sind 6 ungleichseitige Dreiecke um eine gemeinsame Ecke gruppiert; je 8 scharfen sich um einen Achsenaustrittspunkt. Die Parameter zeigen 3 verschiedene Werte $ma : a : na$. Durch Veränderung der beiden Koeffizienten m und n lassen sich sämtliche regulären Formen ableiten.

162. Halbflächner. Hemiedrische Formen lassen sich aus den bisher betrachteten regulären Kristallen auf verschiedene Weise ableiten.

a) Die zu einem Oktanten gehörigen Flächen wachsen. Lassen wir z. B. in Abb. 297 die weißen Oktaederflächen über ihre Grenzlinien hinauswachsen, die schraffierten dagegen verschwinden, so erhalten wir einen von 4 gleich-

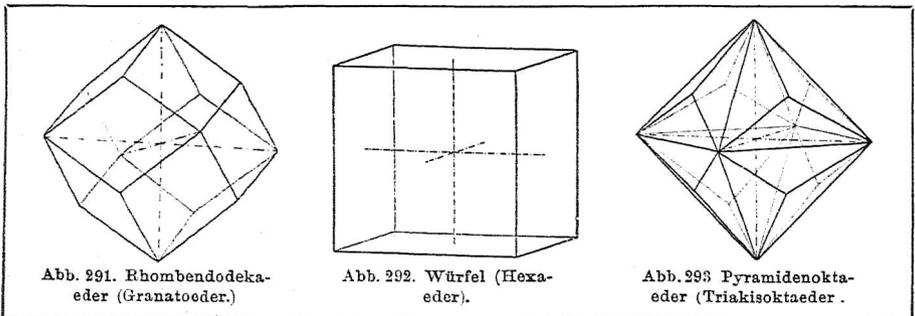
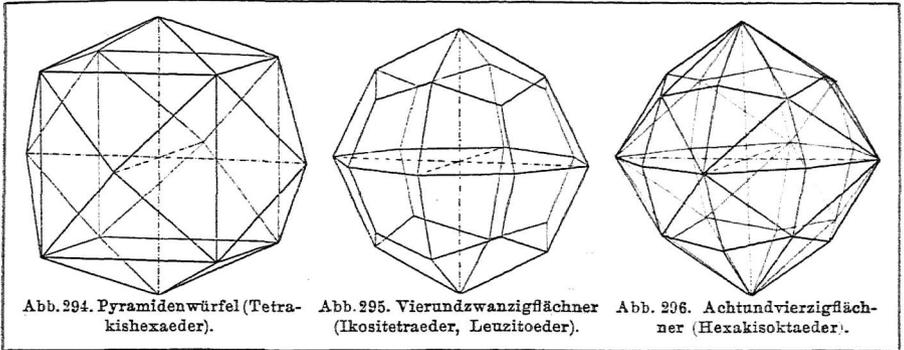


Abb. 291. Rhombendodekaeder (Granatoeder).

Abb. 292. Würfel (Hexaeder).

Abb. 293. Pyramidenoktaeder (Triakisoktaeder).

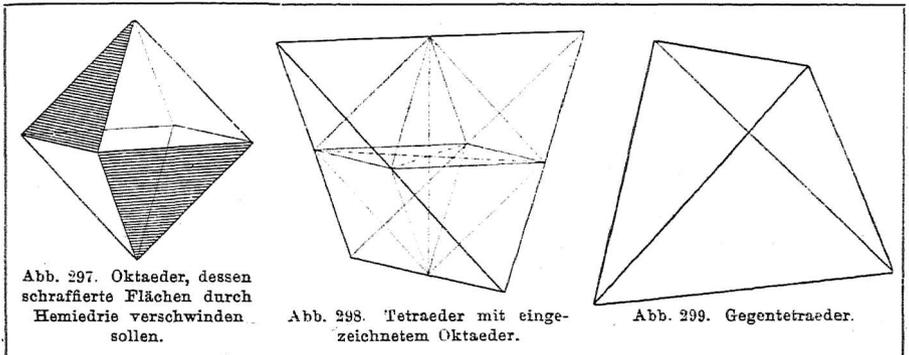


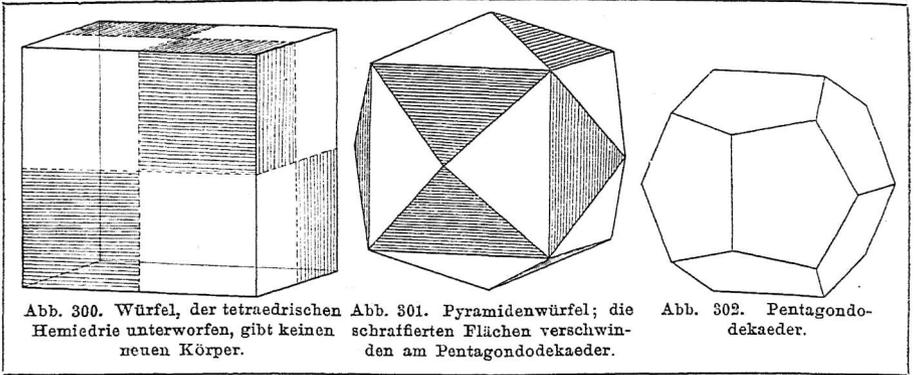
seitigen Dreiecken begrenzten Körper (Abb. 298), den man als *Tetraeder* bezeichnet. Durch Wachsenlassen der schraffierten Flächen entsteht das anders gestellte *Gegentetraeder* (Abb. 299). Die Symmetrie ist wesentlich geringer als am Oktaeder: Es sind nur noch 6 Symmetrieebenen und 3 zwei-zählige, sowie 4 polare dreizählige Drehachsen vorhanden; ein Symmetriezentrum fehlt.

Ein Tetraeder mit aufgesetzten flachen Pyramiden heißt *Pyramidentetraeder* (Abb. 308). Nicht alle Holoeder liefern Hemieder, wenn man ihre Oktanten abwechselnd wachsen und verschwinden läßt; z. B. nicht der Würfel (Abb. 300), bei dem dann die halben Teile einfach in alter Weise über die schraffierten hinwachsen würden. Aber man erkennt den hemiedrischen Charakter solcher Würfel oft an eigentümlichen Streifen in der Schraffenrichtung (Abb. 152).

b) Eine zweite Gruppe hemiedrischer Kristalle erhält man aus denjenigen Formen, in deren Oktanten um eine Ecke je 6 Flächen liegen, wenn man 3 von ihnen wachsen läßt. Das bekannteste Beispiel hierfür bietet die Hemiedrie des Pyramidenwürfels. Durch Wachsen der weißen Dreiecke in Abb. 301 entsteht das

Pentagondodekaeder (gr. pentagonon = Fünfeck, dodeka = 12), das von 6

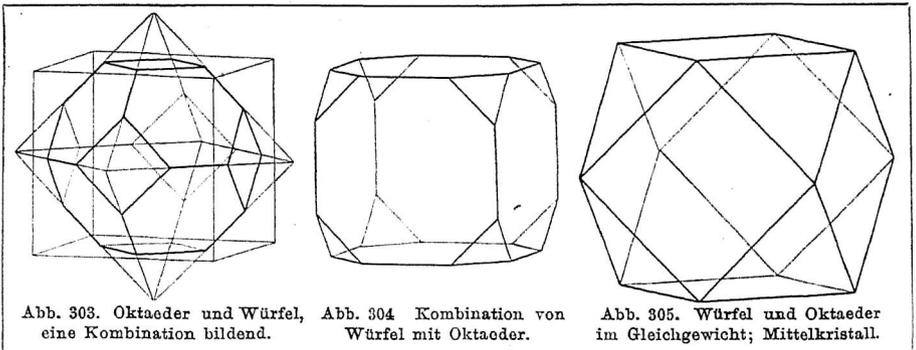


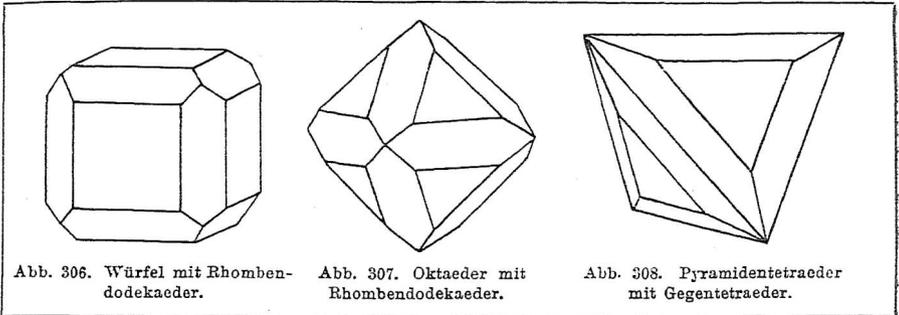


Fünfeckpaaren begrenzt wird (Abb. 302). Nach dem häufigen Vorkommen am Eisenkies oder Pyrit heißt der Körper auch *Pyritoceder*. Er besitzt nur noch 3 Symmetrieebenen, die parallel den Würfel­flächen liegen, dazu 4 dreizählige, 3 zweizählige Symmetrieachsen und ein Symmetriezentrum.

Kombinationen. Sowohl die holoedrischen, wie hemiedrischen Formen des regulären Systems gehen untereinander sehr mannigfaltige Kombinationen ein. Wie z. B. die Moleküle gleichzeitig das Bestreben haben, ein Oktaeder und einen Würfel zu bilden, zeigt Abb. 303. Wiegt in dieser Kombination die Gestalt des Würfel vor, so zeigt es schräg abgeschnittene Ecken (Abb. 304). Sind beide Formen im Gleichgewicht, so entsteht ein „Mittelkristall“ (Abb. 305). Weitere Beispiele zeigen die Abb. 306—308.

Zwillinge. Halbiert man ein Oktaeder durch einen parallel zu einer Fläche geführten Schnitt, so entsteht eine sechseckige Schnittebene. Eine Normale darauf, die durch den Kristallmittelpunkt führt, heißt *Zwillingsachse*. Drehen wir die untere Oktaederhälfte 180° um diese Achse, so erhalten wir einen Zwillingskristall mit 3 einspringenden Winkeln (Abb. 309—310). Die beiden halben Oktaeder haben die sechseckige *Zwillings­ebene* gemeinsam. Ihre Achsenkreuze stehen zueinander *geneigt*. Ähnlich ist die Zwillingsbildung zweier Würfel in Abb. 128. Zwillinge mit *parallelen* Achsenkreuzen kommen





nur bei Hemiedern vor, wenn sich ein Körper mit seinem Gegenkörper kreuzt (Abb. 311). Nach der Art der Verwachsung unterscheiden sich die beiden abgebildeten Zwillinge als 1. *Berührungszwillinge*, 2. *Durchkreuzungszwillinge*.

163. Hexagonales System. Vollflächner. Die 3 wagerechten Achsen des hexagonalen Achsenkreuzes sind gleichlang und schneiden einander unter 60° -Winkeln. Die auf dieses Kreuz gegründeten Formen lassen sich ähnlich entwickeln, wie im tetragonalen System:

Doppelpyramide 1. Stellung: $a : a : \infty a : mc$ (Abb. 312).

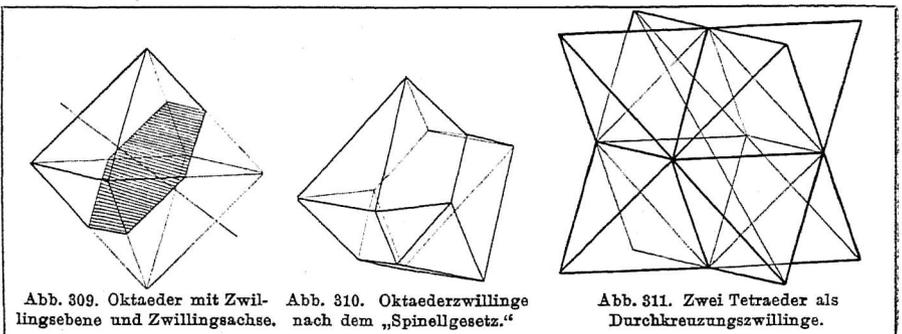
Prisma 1. Stellung: $a : a : \infty a : \infty c$ (Abb. 313).

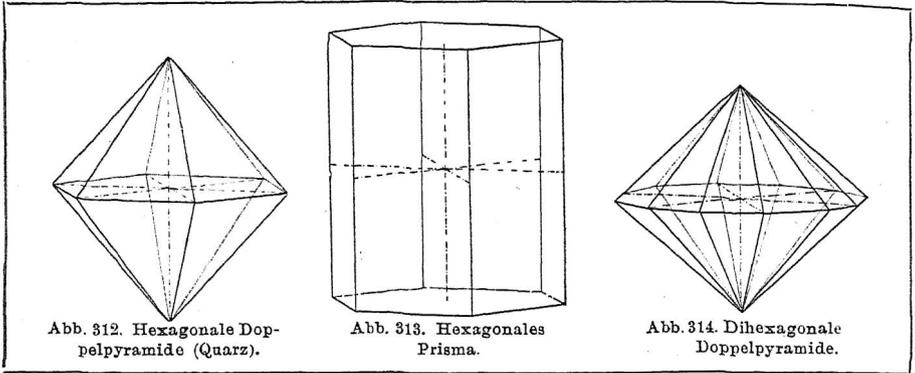
Doppelpyramide 2. Stellung: $2a : a : 2a : mc$ (Abb. 315).

Prisma 2. Stellung: $2a : a : 2a : \infty c$.

Im Gegensatz zum tetragonalen System kehrt hier der Körper 2. Stellung dem Beschauer eine Kante zu.

Eine zwölffseitige Doppelpyramide (*Dihexagonale Doppelpyramide*) entsteht, wenn die eine Achse in einer Entfernung geschnitten wird, die größer als 2 ist, die andere dagegen in einer Entfernung < 2 . Die beiden Werte stehen dabei in dem festen Verhältnis $s : \frac{s}{s-1}$. In Abbildung 315 sind z. B. die Werte 3 und $\frac{3}{2}$ gewählt. Häufig vorkommend ist auch das Verhältnis $4a : a : \frac{4}{3}a$. Weise die Notwendigkeit $s : \frac{s}{s-1}$ aus der Ähnlichkeit zweier Dreiecke an Abb. 315 nach!





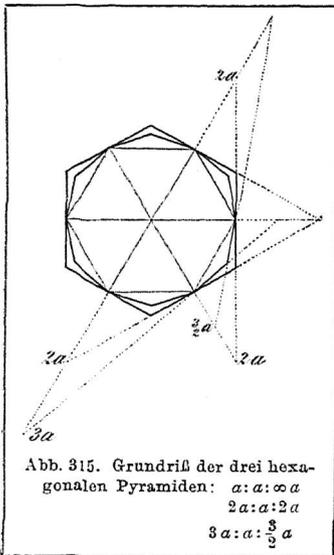
Entsprechend gibt es auch ein *Dihexagonales Prisma* $s a : a : \frac{s}{s-1} a : \infty c$.

Den Abschluß der offenen Prismen bildet das *Basisflächenpaar* $\infty a : \infty a : \infty a : c$.

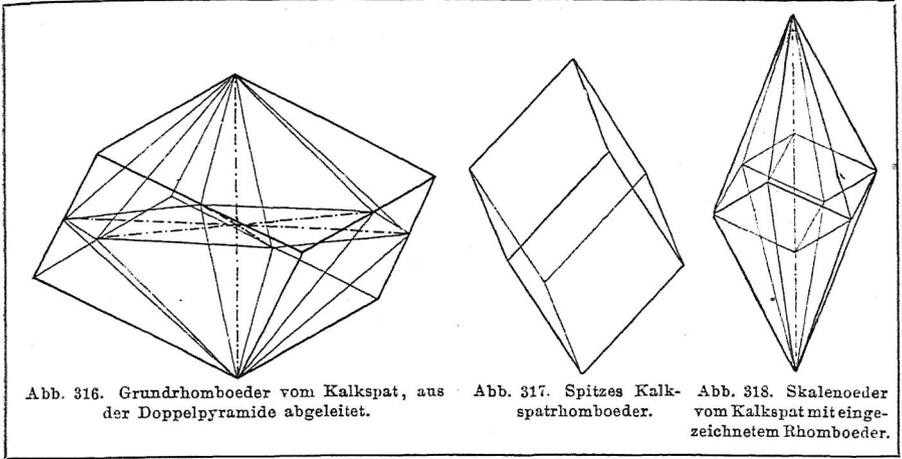
Die bisher betrachteten Körper haben 7 S.-E., 6 zweizählige, 1 sechszählige S.-A., 1 S.-Z.

Beispiel: Beryll. (Nach den häufigsten Formen auch Apatit und Nephelin.)

164. *Romboedrische Hemiedrie*. Hexagonale Kristalle, die nicht alle Symmetrieelemente der Vollflächner besitzen, sind viel häufiger, als diese selbst. Die wichtigste Gruppe erhält man, wenn jeder zweite Sextant wächst und zwar oben und unten im Wechsel. Wird die hexagonale Doppelpyramide auf diese Weise behandelt (Abb. 316), so entsteht das *Rhomboeder*. Es wird von 6 kongruenten Rhomben begrenzt. Je 3 „Polkanten“ treffen einander in der ehemaligen Pyramidenspitze, also in *mc*. Die *Mittel-* oder *Randkanten* bilden eine Zickzacklinie. Setzt man für *mc* wechselnde Werte ein, so entstehen bald steilere (Abb. 317), bald flachere Formen. Das Rhomboeder ist weder quer durch eine Hauptsymmetrieebene, noch senkrecht in der Richtung der *a*-Achsen spiegelbildlich teilbar. Es besitzt also von den 7 Symmetrieebenen der Pyramide nur 3, dazu nur 1 dreizählige und 3 zweizählige Drehachsen.



Wird die dihexagonale Doppelpyramide nach demselben Verfahren behandelt, so entsteht das *Skalenoeder* (gr. *skalenós* = ungleichseitig), das von 2 mal 6 ungleichseitigen Dreiecken begrenzt wird. Die Polkanten sind abwechselnd stumpf und scharf. Die Randkanten steigen im Zickzack auf und ab. Die nahe Verwandtschaft zwischen den beiden zuletzt genannten Kör-



pern zeigt sich darin, daß man über einem Rhomboeder ein Skalenoeeder konstruieren kann, das die gleichen Randkanten, aber einen mehrfachen Wert für c (z. B. $3c$ in Abb. 318) besitzt.

Beispiele: Kalkspat, Korund (Abb. 134), Turmalin.

Einer besonderen Symmetrieklasse gehört der Quarz an. Als gemeiner Quarz bildet er zwar häufig modellscharfe Kombinationen, wie Abb. 44. Die

Bergkristalle deuten aber oft schon durch die abwechselnd auftretende Querstreifung eine geringere physikalische Symmetriean (Abb. 45). Durch kleine Flächen, die abwechselnd einzelne

Säulenecken abstumpfen, wird die Hemiedrie weiter bewiesen. Es gehen dabei alle 7 Symmetrieebenen verloren; wohl aber bleibt die dreizählige Symmetrieachse bestehen. Je

nachdem die kleinen Flächen in der rechten oder linken oberen Ecke der Säulenflächen auftreten, spricht man von Rechts- und Linksquarzen. (Abb. 322 d, e.)

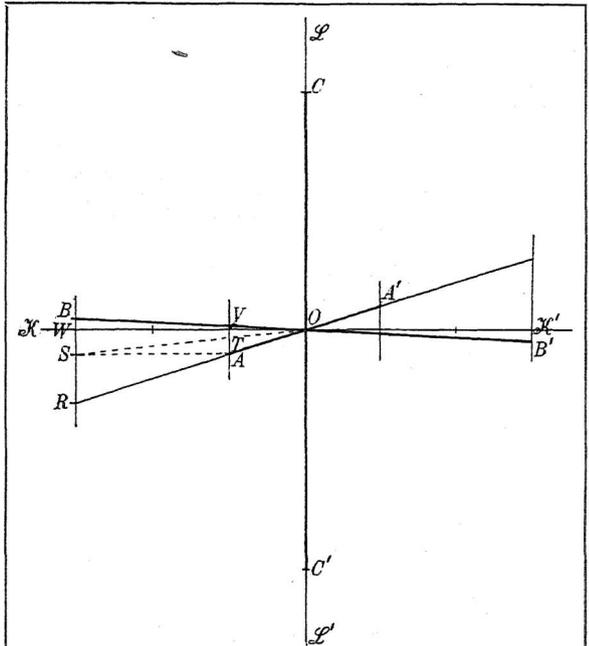
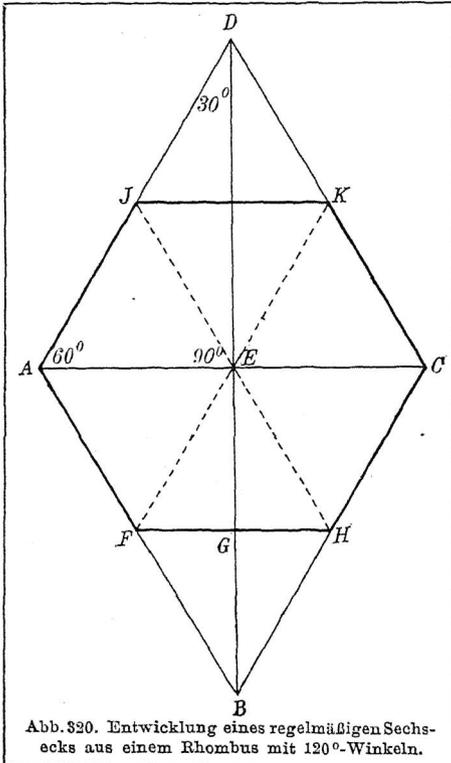


Abb. 319. Konstruktion des regulären Achsenkreuzes.



folgendermaßen (nach Groth) konstruiert¹⁾:

1. Ziehe 2 einander rechtwinklig schneidende Gerade $K-K'$ und $L-L'$.
2. Trage auf $K-K'$ vom Schnittpunkte O nach jeder Seite 3 gleiche Teilstrecken ab.
3. Ziehe durch den ersten und dritten Teilstrich Parallele zu $L-L'$.
4. Trage vom äußeren linken Teilpunkt W die unter 2. angewendete Teilstrecke auf der Senkrechten nach unten ab. (Punkt R .)
5. Ziehe von R eine Gerade durch O bis zur entgegengesetzten Senkrechten. Die inneren Senkrechten schneiden aus dieser Geraden der Strecke $A-A'$. Diese ist die Projektion der Längsachse.
6. Ziehe durch A eine Parallele zu $K-K'$ bis zum Schnittpunkte S .
7. Verbinde S mit O durch eine Gerade, die den Schnittpunkt T liefert.
8. Die Strecke vom ersten Teilpunkte V bis zum Schnittpunkt T trage auf der linken äußeren Senkrechten von W nach oben ab: Schnittpunkt B .

1) Das ganze Kapitel ist nur für solche Schulen, in denen praktische Übungen eingeführt sind. Ist die Konstruktion der Achsenkreuze hiernach auch mechanisch, so sind doch die darauf gegründeten Kristallzeichnungen außerordentlich denkbildend. Denn sie setzen ein volles Verständnis der Parameterverhältnisse voraus.

165. Das Zeichnen von Kristallfiguren. Die Art, wie man Kristallmodelle in wissenschaftlichen Werken meist zu zeichnen pflegt, nennt man *Parallelprojektion*, d. h. das Auge des Beobachters wird in unendlicher Entfernung gedacht. Alle Kanten, die am Modell parallel sind, behalten diese Eigenschaft auch in der Zeichnung. Würde man einen Würfel so aufstellen, daß die parallelen Sehstrahlen eine Fläche senkrecht treffen, so würde seine Projektion ein Quadrat sein; der körperliche Eindruck ginge dabei völlig verloren. Um ein möglichst plastisches Bild zu erhalten, stellt man alle Kristalle so auf, daß die c -Achse nach vorn geneigt ist, die b -Achse mit dem rechten Ende nach vorn gedreht wird. Ein Würfel in dieser Aufstellung zeigt uns sowohl die linke, als auch die obere Fläche verkürzt gleichzeitig mit der Vorderfläche. Um alle Kristalle in dieser günstigen Stellung zeichnen zu können, hat man ganz bestimmte Vorschriften zur Konstruktion der Achsenkreuze gegeben. Das *reguläre Achsenkreuz* (Abb. 319) wird

9. Ziehe eine Gerade von B durch O bis B' . Dies ist die Projektion der Querachse.

10. Trage die Strecke $R-O$ auf $\mathcal{L}-\mathcal{L}'$ beiderseits von O ab. Dies ergibt die Strecke $C-C'$, die Projektion der Vertikalachse.

Will man auf Grund dieses Achsenkreuzes Kristalle zeichnen, so gilt es stets, folgende Überlegungen anzustellen: Welche Punkte des Kristalls fallen mit den Achsenenden zusammen? Welche Hilfslinien können durch die Achsenenden gelegt werden? Welche Kanten oder Hilfslinien laufen mit einer Achse

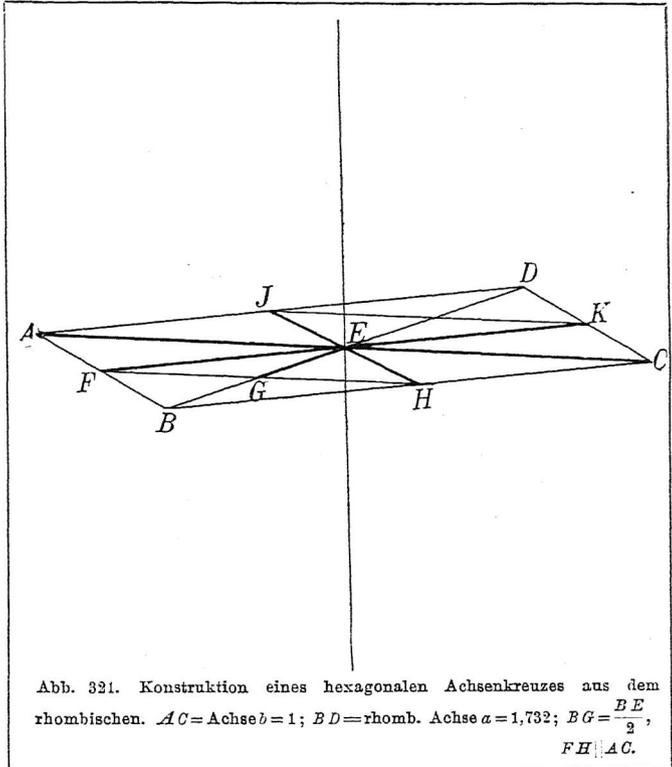


Abb. 321. Konstruktion eines hexagonalen Achsenkreuzes aus dem rhombischen. $AC = \text{Achse } b = 1$; $BD = \text{rhomb. Achse } a = 1,732$; $BG = \frac{BE}{2}$, $FH \parallel AC$.

parallel? Ist irgend eine Kante oder Hilfslinie so gerichtet, daß sie auf ein Vielfaches des Parameters trifft? Auf Grund solcher Überlegungen vermag der Schüler ohne Anleitung alle in diesem Buche befindlichen Zeichnungen des regulären Systems selbständig zu konstruieren.

Das *tetragonale* Achsenkreuz gewinnt man, indem man zunächst das reguläre entwirft und zuletzt die Strecke $O-C$ mit dem für das betr. Mineral gültigen Werte für c multipliziert (z. B. Anatas in Abb. 251 mit 1,7771). Ebenso verfährt man beim *rhombischen* Kreuz, nur daß hier auch a zu multiplizieren ist.

Um das *hexagonale* Achsenkreuz aus dem rhombischen abzuleiten, bedarf es folgender Überlegung. Abb. 320 sei die Grundfläche einer rhombischen Pyramide, in der die Diagonale AC der Achse b entspricht, BD der Achse a . Die beiden seitlichen Winkel sind 120° groß gezeichnet worden. Dann hat das Dreieck AED Winkel von 30° , 60° , 90° . Setzen wir die Kathete $AE = 1$, so ist $ED = 1 \cdot \tan 60^\circ = 1,732$. Dies ist also der Wert für die Achse a . Halbieren wir a und legen durch den Halbierungspunkt G eine Parallele zu AC , so ist auch $FG = \frac{1}{2} AE$ und $FB = \frac{1}{2} AB$ (ähnliche Dreiecke!). Ferner ist $FH = AE$ und Winkel $AFH = 120^\circ$. Dann muß $AFHCKI$ ein regelmäßiges Sechseck sein. Führen wir die entsprechenden Operationen mit der Projektion des rhombischen Achsenkreuzes aus, dessen a -Achse man den Wert 1,732 gegeben hat, so ergibt sich die Kon-

struktion Abb. 321. Durch Verbindung der Punkte IH und FK erhält man die beiden fehlenden Kristallachsen a . Die Länge von c ist für die einzelnen Mineralien verschieden.

Begnügen wir uns im *monoklinen* und *triklinen* System mit der Benutzung eines *beliebig* großen schiefen Winkels, so können wir einfach vom rhombischen Kreuz ausgehen und die a -Achse etwas mehr nach vorn neigen, im triklinen Kreuz außerdem die b -Achse nach rechts. Die genauere trigonometrische Bestimmung des Neigungswinkels lassen wir als zu umständlich weg.

II. Physikalische Eigenschaften.

1. Spaltbarkeit.

166. Die einzelnen Teilchen eines Mineralkörpers besitzen untereinander einen gewissen Zusammenhalt, den man überwinden muß, wenn man das Mineralstück zertrümmern will. Zerschlägt man Glas, Siegellack oder einen anderen *amorphen* Körper, so sind die Bruchstücke völlig uneben, oft mit muscheliger Oberfläche. Dagegen sind die mit Meißel oder Hammer hergestellten Steinsalztrümmer stets von einander rechtwinklig schneidenden ebenen Flächen begrenzt. Der Zusammenhalt ist hier also nach ganz bestimmten Richtungen geringer. Diese Eigenschaft heißt *Spaltbarkeit*. *Die Richtung der Spaltflächen stimmt stets mit der einer vorhandenen oder möglichen Kristallfläche überein*. In Dünnschliffen zeigt sich die Spaltbarkeitsrichtung häufig durch Scharen feiner Risse; doch ist sie auch in solchen Stücken vorhanden, die selbst bei stärkster Vergrößerung keine Risse erkennen lassen.

Würfelförmige Spaltungsstücke liefert außer dem Steinsalz auch der Bleiglanz, oktaedrische der Flußspat (Abb. 128). Gute Spaltbarkeit nach der hexagonalen Basisfläche zeigt der Beryll (Smaragd); rhomboedrisch spalten Kalkspat und Dolomit (Abb. 35), rhombisch pyramidal der Schwefel. Beim Gips geht die Richtung der vollkommensten Spaltbarkeit parallel den Längsflächen (Abb. 23). Monokline Hornblenden und Augite kann man leicht durch den verschiedenen Winkel der prismatisch verlaufenden Spaltrisse unterscheiden. Glimmerblättchen sind nach der monoklinen Basisfläche gespalten.

2. Härte.

167. Auf dem verschiedenen Zusammenhalt der Moleküle beruht auch die Härte. *Härte ist der Widerstand, den ein Mineral dem Eindringen eines spitzen Gegenstandes beim Ritzen entgegensetzt*. Man kann zur Bestimmung derselben den Fingernagel, eine Kupfermünze, ein Stück Fensterglas und die Stahlklinge eines Taschenmessers benutzen. Der Mineralog Mohs hat eine Anzahl von Mineralien zusammengestellt, die in aufsteigender Reihe

den Grad der Härte angeben sollen. Diese *Härteskala* wird mit den Ziffern 1—10 bezeichnet; Mittelstufen drückt man durch Dezimalen aus:

1. *Talk* (wird leicht vom Fingernagel geritzt). Speckstein, Meerschaum, Graphit, Chlorit; 1,5: Blei.
2. *Steinsalz* (von Kupfermünze geritzt): Gips, Schwefel, Steinkohle, Silberglanz. 2—3: Gold, Silber, Kupfer, Bleiglanz, Glimmer.
3. *Kalkspat* (von weichem Eisennagel geritzt). Schwerspat. 3—4: Serpentin, Zinkblende.
4. *Flußspat* (von Glas geritzt). 4,5: Eisen.
5. *Apatit* (gleichhart mit Glas, von gutem Taschenmesser geritzt). 5—6: Hornblende, Augit.
6. *Feldspat (Orthoklas)* (ritzt Glas, ebenso hart wie Stahl). Schwefelkies, Eisenglanz, Zinnstein, Opal, Türkis.
7. *Quarz* (ritzt Stahl und reißt glühende „Funken“ von ihm ab). Granat, Turmalin.
8. *Topas*. Smaragd.
9. *Korund*. Rubin, Saphir.
10. *Diamant*. (140 mal so hart als Korund, das Tausendfache der Quarzhärte!)

Bei genaueren Untersuchungen von Kristallen läßt sich feststellen, daß die Härte nicht auf allen Flächen desselben Kristalls gleich groß ist, ja daß sie sogar nach den verschiedenen Richtungen derselben Fläche wechselt. Steinsalzwürfel lassen sich z. B. nach den Diagonalen der Quadrate schwerer ritzen, also in der Richtung der Seiten. Beim Flußspatwürfel ist es gerade umgekehrt. Solche Härteunterschiede werden nur an gut spaltbaren Kristallen beobachtet. Sie hängen stets mit dem Symmetriegrad der betr. Fläche zusammen.

Aufgaben: Welche Flächen muß man bei Härtebestimmungen möglichst ritzen? Mit welcher Nummer der Härteskala beginnt man die Proben, um das zu untersuchende Mineral möglichst zu schonen? Hat man in der Skala Stücke mit glatten Flächen, so ritzt man besser umgekehrt mit dem Probestück; mit welchen Nummern beginnt man dann? Warum nennt man Opal, Türkis, Granat auch Halbedelsteine?

3. Ätzfiguren.

168. Läßt man ein frisches Spaltungsstück des Steinsalzes einige Zeit unter einer Glasglocke neben einem Gefäß mit Wasser stehen, so tritt unter dem Einflusse des Wasserdampfes eine stellenweise Auflösung des Salzes ein. Die vorher spiegelglänzende Spaltfläche zeigt feine Grübchen oder *Ätzfiguren*. Je kleiner diese sind, um so besser lassen sie eine scharf begrenzte Quadratform erkennen, deren Seiten parallel zu den Würfelkanten des Kristalls verlaufen (Abb. 322a). Tiefere Grübchen sind treppenförmig eingetieft. Behandelt man Würfel von Sylvin (KCl), so entstehen die-

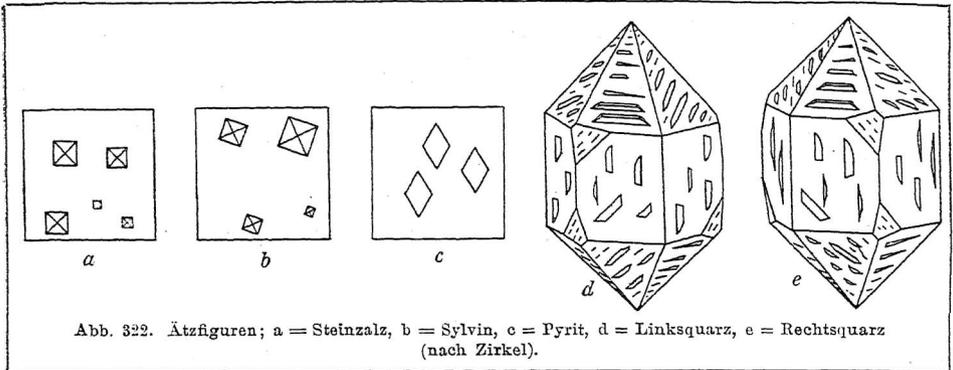


Abb. 322. Ätzfiguren; a = Steinsalz, b = Sylvin, c = Pyrit, d = Linksquarz, e = Rechtsquarz (nach Zirkel).

selben Ätzfiguren, aber schiefgestellt (Abb. 322b). Auf einem Eisenkieswürfel, der mit Königswasser geätzt wird, entstehen rhombische Figuren (Abb. 322c). Das verschiedene Verhalten deutet auf einen verschiedenen Grad der physikalischen Symmetrie bei den Würfelkristallen. (Vgl. auch die Streifung der Eisenkieskristalle auf Abb. 152!) Bergkristalle lassen sich mit Flußsäure anätzen. Sie geben dann Figuren, die bei Rechts- und Linksquarzen gerade entgegengesetzt umgrenzt sind (Abb. 322d und e). Sie zeigen deutlich, daß die Quarzkristalle nicht zu den holoedrischen Formen des hexagonalen Systems gehören. In solchen Ätzversuchen hat die Wissenschaft ein vorzügliches Mittel gefunden, den physikalischen Symmetriegrad der Kristalle festzustellen.

4. Dichte (Spezifisches Gewicht).

169. *Relative Dichte ist die unbenannte Zahl, die angibt, wievielmals so schwer ein Körper ist als das gleichgroße Volum Wasser von 4° C. Das spezifische Gewicht ist das Gewicht von 1 ccm eines Körpers, in Grammen ausgedrückt.* Über die verschiedenen Arten der Wägungen gibt die Physik Auskunft. Oft dient zur Erkennung schon das bloße Aufheben eines Minerals mit der Hand. Nach diesem Grundsatz geordnet, geben die von uns betrachteten Mineralien folgende Reihe, in der die genaue Dichtezahl beige setzt ist:

1. Sehr leicht, auf dem Wasser schwimmend:
Meerschaum (aber nur wegen der Luftporen), Asphalt, bisweilen Bernstein.
2. Sehr leicht, aber nicht schwimmend:
Steinkohle 1,5, Schwefel 2, Steinsalz 2,2, Gips 2,3.
3. Durchschnittliches Gewicht gesteinsbildender Mineralien:
Glimmer 3, Turmalin 3, Augit 2,8—3,5.
4. Durch Schwere auffallende Mineralien:
Granat 3,2—4,3, Diamant 3,5, Korund 4, Schwerspat 4,5.
5. Erze:
Eisenspat 3,8, Zinkblende 4, Schwefelkies 5, Magneteisen 5, Zinnstein 7, Bleiglanz 7,5.

6. Gediogene Metalle:

Eisen 7, Kupfer 8,5, Silber 10, Quecksilber 13,6, Gold 19,4.

Die Dichte der ganzen Erdrinde ist auf 2,5 berechnet; für die Erdkugel ist 5,4 bis 5,7 gefunden worden.

Aufgaben: Was ergibt sich aus den letzten Angaben für die Dichte des Erdkerns? Welche Stoffe müssen also dort vorwiegen? Ordne die oben genannten Gesteinsgemengteile nach der Farbe; welche Reihe nach dem Gewicht ergibt dies? Woran liegt das höhere spezifische Gewicht dunkler Mineralien meist?

III. Chemische Eigenschaften.

170. Das beste Mittel, die chemische Beschaffenheit eines Minerals zu erkennen, ist natürlich die Analyse. Doch ist diese nicht nur zu umständlich, sondern in den meisten Fällen auch entbehrlich. Der Mineralog behilft sich vielmehr mit kürzeren Verfahren, den sogenannten *Vorproben*, die entweder auf *trockenem* Wege (mit der Flamme) oder auf *feuchtem* Wege (mit Wasser, Säuren, Alkalien) ausgeführt werden. Für die Flammenprüfung bedient man sich häufig des Lötrohrs, dessen äußere Flamme oxydierend, dessen innere reduzierend wirkt. Einige einfache Vorproben sind z. B. folgende:

1. Untersuchung in der Bunsenflamme:

- a) Flammenfärbung deutet das vorhandene Metall an, Natrium gelb, Kalium violett usw.;
- b) Knoblauchgeruch deutet auf Arsen (Rotgüldigerz),
- c) starker weißer Rauch auf Antimon,
- d) stechender Geruch auf Schwefel.

2. Erwärmen im einseitig geschlossenen Glasrohre:

- a) Feuchter Beschlag verrät Wassergehalt,
- b) gelber Beschlag hohen Schwefelgehalt.

3. Zusammenschmelzen mit Soda auf Holzkohle in der Lötrohrflamme:

- a) durch Reduktion erhält man bisweilen ein Metallkorn;
- b) die angefeuchtete Schmelzmasse ruft auf einer Silbermünze durch Bildung von Silbersulfid eine Schwärzung hervor, wenn Schwefel vorhanden ist.

4. Zusammenschmelzen mit Borax in einer Platindrahtschlinge:

Es entsteht eine glasige Perle, die durch etwa vorhandene Metalloxyde charakteristische Farben erhält, z. B.

Eisenoxyd	in der Oxydationsfl.	gelbrot,	Reduktionsfl.	grün,
Kupferoxyd	„ „ „	grün	„	farblos, kalt braun,
Kobaltoxydul	„ „ „	blau	„	blau,
Manganoxyd	„ „ „	violett	„	farblos.

5. Zusammenschmelzen mit Phosphorsalz in Platindrahtschlinge:
Dieses Salz (phosphorsaures Natrium-Ammonium) löst ebenfalls Metalloxyde und gibt noch deutlichere Färbungen der Perle.
6. Behandeln mit Salzsäure:
- a) unter Aufbrausen löslich sind die Karbonate;
 - b) zu einer gallertigen Masse löslich: Nephelin, Olivin;
 - c) unter Abscheiden von Kieselsäure löslich: Leuzit, Labrador;
 - d) unlöslich: Orthoklas, Hornblende, Glimmer, Quarz usw.

Mit Hilfe solcher Vorproben werden die Mineralien an der Hand von Tabellen in ähnlicher Weise bestimmt, wie die Pflanzen nach einer Exkursionsflora.

Die chemische Zusammensetzung ist das geeignetste Mittel, die Mineralien nach ihrer Verwandtschaft zu gruppieren, um so mehr, als sich das aufgestellte System völlig deckt mit dem in der Chemie üblichen.

Außerdem bestehen aber auch eigenartige Beziehungen zwischen der chemischen Beschaffenheit vieler Mineralien und ihrer Kristallform. So kristallisiert nicht nur der Kalialaun $KAl(SO_4)_2$ in regulären Oktaedern, sondern auch der Chromalaun $KCr(SO_4)_2$. Mineralien von verschiedener, aber verwandter chemischer Zusammensetzung, die gleiche oder sehr ähnliche Kristalle bilden, heißen *isomorph* (gr. *isos* = gleich, *morphē* = Gestalt). Oktaeder aus Chromalaun vermögen in einer gesättigten Lösung von Kalialaun ungehindert weiter zu wachsen; man erhält einen Kristall mit dunkelviolettem Kern und glasklarer Rinde. Eine isomorphe Gruppe mit rhomboedrischen Kristallen bilden folgende Karbonate:

Kalkspat	$CaCO_3$
Manganspat	$MnCO_3$
Eisenspat	$FeCO_3$
Magnesitspat	$MgCO_3$
Zinkspat	$ZnCO_3$

Tetragonal kristallisieren: Zirkon $ZrSiO_4$ und Zinnstein SnO_4 .

Kommt ein und dieselbe chemische Substanz in wesentlich verschiedenen Kristallformen vor (verschiedenen Systemen oder Symmetrieklassen), so heißt sie *polymorph* (gr. *polys* = viel), bei *zwei* verschiedenen Formengruppen *dimorph*. So kristallisiert Schwefel aus dem Schmelzflusse in monoklinen Prismen, aus Schwefelkohlenstofflösung in rhombischen Doppelpyramiden. Kalziumkarbonat $CaCO_3$ bildet eine rhomboedrische Abart, den Kalkspat, und eine rhombische, den Aragonit. Kohlenstoff kommt als regulär kristallisierender Diamant und in hexagonalen Blättchen als Graphit vor.

IV. Anordnung der Mineralien nach ihrer chemischen Beschaffenheit.

171. 1. Klasse: Elemente.

1. Ordnung: Nichtmetalle.

- * Diamant, C, regulär, Härte 10, Dichte 3,5 (107).
- + Graphit, C, hexagonal, H. 0,5—1, D. 2 (55).
- Schwefel, S, rhombisch, H. 2, D. 2 (112).
- Arsen, As, hexag.-rhomboedr., H. 3,5, D. 5,8 (105).
- Wismut, Bi, H. 2,5, D. 9,8 (128).
- Antimon, Sb, H. 3—3,5, D. 6,6 (128).

2. Ordnung: Metalle.

- Eisen, Fe, regulär, H. 4,5, D. 7—7,8 (125).
- Kupfer, Cu, reg., H. 2,5—3, D. 8,5 (120).
- Blei, Pb, reg., H. 1,5, D. 11,4 (128).
- Quecksilber, Hg, amorph, D. 13,6 (128).
- Silber, Ag, reg., H. 2,5, D. 10—11 (116).
- Gold, Au, reg., H. 2,5—3, D. 16—19,4 (112).
- Platin, Pt, reg., H. 4,5—5, D. 17—18 (128).

2. Klasse: Sulfide, Arsenide.

- Schwefelkies, FeS_2 , reg., H. 6—6,5, D. 4,9—5,2 (127).
- Markasit, FeS_2 , rhombisch, H. 6—6,5, D. 4,55—4,88 (127).
- Bleiglanz, PbS , reg., H. 2,5, D. 7,5 (114).
- Silberglanz, Ag_2S , reg., H. 2—2,5, D. 7—7,4 (116).
- Wismutglanz, Bi_2S_3 , H. 2, D. 6,6 (128).
- Kobaltglanz, CoAsS , H. 5,5, D. 6 (128).
- Speiskobalt, CoAs_2 , H. 5,5, D. 6—7 (128).
- Antimonglanz, Sb_2S_3 , H. 2, D. 4,6 (128).
- Zinkblende, ZnS , reg., H. 3,5—4, D. 4 (117).
- Zinnober, HgS , hex., H. 2—2,5, D. 8 (128).
- Kupferkies, $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$, tetr., H. 3,5—4, D. 4,2 (120).
- Kupferglanz, Cu_2S , rhomb., H. 2,5—3, D. 5,5 (120).
- Fahlerz, reg., H. 3—4, D. 4,4—5,4 (123).
- Lichtes Rotgüldigerz, rhomboedrisch, $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$, H. 2—2,5, D. 5,5 (116).
- Dunkles Rotgüldigerz, rhomboedrisch, $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$, H. 2—2,5, D. 5,7 (116).
- Magnetkies, $5\text{FeS} \cdot 2\text{Fe}_2\text{S}_3$, hex., H. 4, D. 4,6 (127).
- Arsenkies, FeSAs , rhomb., H. 5,5—6, D. 6—6,2 (127).
- Rotnickelkies, NiAs , hexag., H. 5,5, D. 7,5 (128).

3. Klasse: Oxyde.

1. Ordnung: Anhydride.

Rotkupfererz, Cu_2O , reg., H. 3,5—4, D. 5,7—6 (120).

Korund, Al_2O_3 , hex., H. 9, D. 4 (121).

Roteisen, Fe_2O_3 , hex., H. 3—6,5, D. 5,2 (127).

Magneteisen, Fe_3O_4 , reg., H. 5,5—6,5, D. 5 (127).

Chrom Eisenstein, $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, reg., H. 5,5, D. 4,5—4,8 (127).

Quarz, SiO_2 , hex., H. 7, D. 2,5—2,8 (46).

Zirkon, $\text{ZrO}_2 + \text{SiO}_2$, tetrag., H. 7,5 D. 4,4—4,7 (111).

Zinnstein, SnO_2 , tetr., H. 6—7, D. 7 (122).

Pyrolusit, MnO_2 , H. 2—2,5, D. 4,7—5 (128).

Spinell, MgAl_2O_4 , reg., H. 8, D. 4 (111).

Uranpecherz, H. 5—6, D. 8—9,7 (128).

2. Ordnung: Hydroxyde.

Raseneisenerz, D. 3,5 (127).

Brauneisenerz, $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$, H. 5, D. 3,6 (127).

Opal, $\text{SiO}_2 + 3 - 13\% \text{H}_2\text{O}$, amorph, H. 4,5—6,5 D. 2 (46).

4. Klasse: Haloidsalze.

Steinsalz, NaCl , reg., H. 2, D. 2,2 (18).

Sylvin, KCl , reg., H. 2, D. 2 (30).

Carnallit, $\text{KMgCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$, rhomb., D. 1,6 (30).

Chlorsilber, AgCl , reg., H. 2—3, D. 5,6 (116).

Flußspat, CaF_2 , reg., H. 4, D. 3,1 (106).

5. Klasse: Sauerstoffsalze.

1. Ordnung: Nitrate.

Natronsalpeter, $\text{Na}(\text{NO}_3)$, hex., H. 1,5—2, D. 2,2 (31).

2. Ordnung: Karbonate.

Kalkspat, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, hex., H. 3, D. 2,7 (32).

Dolomit, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, hex., H. 3,5—4,5, D. 2,9 (39).

Magnesit, $\text{Mg}(\text{CO}_3)$, hex., H. 4—4,5, D. 3 (39).

Eisenspat, $\text{Fe}(\text{CO}_3)$, hex., H. 3,5—4,5, D. 3,8 (39).

Zinkspat, $\text{Zn}(\text{CO}_3)$, hex., H. 5, D. 4,3 (39).

Strontianit, (SrCO_3) , H. 3,5, D. 3,6 (39).

Aragonit, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, rhomb., H. 3,5—4, D. 3 (38).

Weißbleierz, $\text{Pb}(\text{CO}_3)$, rhomb., H. 3—3,5, D. 6,5 (128).

Kupferlasur, $2\text{Cu}(\text{CO}_3) + \text{Cu}(\text{OH})_2$, monokl., H. 3,5—4, D. 3,8 (120).

Malachit, $\text{Cu}(\text{CO}_3) + \text{Cu}(\text{OH})_2$, monokl., H. 3,5—4, D. 3,7—4,1 (120).

3. Ordnung: Sulfate.

Schwerspat, $\text{Ba}(\text{SO}_4)$, rhomb., H. 3—3,5, D. 4,3—4,7 (118).

Anhydrit, $\text{Ca}(\text{SO}_4)$, rhomb., H. 3—3,5, D. 2,8—3 (24).

Gips, $\text{Ca}(\text{SO}_4) + 2\text{H}_2\text{O}$, monokl., H. 1,5—2, D. 2,3 (24).

Bittersalz, $\text{Mg}(\text{SO}_4) + 7\text{H}_2\text{O}$, H. 2—2,5, D. 1,8 (28).

4. Ordnung: Phosphate.

Apatit, $\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$; $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$, hex., H. 5, D. 3,2 (47).

Phosphorit (47).

Türkis, $\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2 + \text{Al}_2(\text{OH})_6 + 2\text{H}_2\text{O}$, H. 6, D. 2,7 (111).

5. Ordnung: Silikate.

Andalusit $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)$, rhomb., H. 7—7,5, D. 3,15 (65).

Topas, $5\text{Al}_2(\text{SiO}_5) + \text{Al}_2(\text{SiF}_{10})$, rhomb., H. 8, D. 3,5 (106).

Turmalin, hex., H. 7—7,5, D. 3 (70).

Olivin, $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) + \text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$, rhomb., H. 6,5—7, D. 3,3 (65).

Kieselzink, $\text{Zn}_2(\text{SiO}_4) + \text{H}_2\text{O}$, rhomb., H. 5, D. 3,4 (128).

Granat, reg., H. 6,5—7,5, D. 3,2—4,3 (111).

Leuzit, $\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_4$, rhomb., H. 5—6, D. 2,5 (68).

Nephelin, $\text{Na}(\text{K})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2$, hex., H. 5,5—6, D. 2,6 (68).

Glimmer, monokl., H. 2—3, D. 2,7—3 (69).

Chlorit, monokl., H. 1,5—3, D. 2, 69(9).

Talk, $\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_4)_3$, H. 1, D. 2,7 (66).

Meerschaum, $\text{Mg}_2(\text{Si}_3\text{O}_8) + 2\text{H}_2\text{O}$, H. 2—2,5, D. 2 (66).

Speckstein, H. 1,5, D. 2,7 (66).

Serpentin, $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_7) + 2\text{H}_2\text{O}$, H. 3—4, D. 2,5 (66).

Augit, monokl., H. 5—6, D. 2,8—3,5 (70).

Hornblende, monokl., H. 5—6, D. 2,9—3,3 (70).

Smaragd, $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$, hex., H. 7,5—8, D. 2,7 (111).

Feldspat, monokl., trikl., H. 6—6,5, D. 2,5—2,7 (67).

Kaolin, $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7) + 2\text{H}_2\text{O}$, H. 1, D. 2,2 (106).

Zeolith, H. 4—5,5, D. 1,8—2,5 (106).

6. Klasse: Organische Verbindungen und deren Abkömmlinge.

Anthrazit, 90—95% C, H. 2—2,5, D. 1,5 (54).

Steinkohle, 75—90% C, H. 2—2,5, D. 1,2—1,5 (52).

Braunkohle, 70% C, D. 1,2—1,4 (51).

Torf (50).

Bernstein, $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$, H. 2—2,5, D. 1 (145).

Asphalt, H. 2, D. 1,2 (49).

Petroleum (49).

Ozokerit (49)

V. Werke zum selbständigen Weiterstudium.

- R. Brauns, Das Mineralreich. Stuttgart, Fritz Lehmann, 1903. 50 Mk. Die besten Farbentafeln, Text und Anordnung volkstümlich.
- A. Sauer, Mineralkunde als Einführung in die Lehre vom Stoff der Erdrinde. Frankh, Stuttgart, 1908. 13,60 Mk. In Anlage dem vorigen ähnlich, Abb. weniger gut.
- R. Freudenberg, Studiermineraliensammlung für Schüler höherer Lehranstalten. Radebeul. 8 Kästen mit 262 Mineralien und Gesteinen. 145 Mk. Die Sammlung ist im engen Anschluß an dieses Lehrbuch hergestellt, Durchschnittsgröße 5×7 cm. Jeder Kasten einzeln käuflich.

- P. Michaelis, Dresden-Blasewitz, Schubertstraße 12: Geologisch-mineralogische Belegstücke zu P. Wagner, Lehrbuch der Geologie. — (Preisverzeichnis im engen Anschluß an vorliegendes Buch.)
- E. Haase, Lötrohrpraktikum. Leipzig, E. Nägele, 1908. 1,20 Mk. Ganz einfach, für jeden Schüler verständlich.
- C. F. Plattner, Probierkunst mit dem Lötrohre. Bearbeitet von Dr. F. Kolbeck. 7. Aufl. Leipzig, Barth, 1907. 12 Mk. Umfassend und für alle Bestimmungen ausreichend.
- A. Weisbach, Tabellen zur Bestimmung der Mineralien mittels äußerer Kennzeichen. Bearb. von Dr. F. Kolbeck. 8. Aufl. Leipzig, Felix, 1909. 4,40 Mk.
- F. Rinne, Praktische Gesteinskunde für Bauingenieure, Architekten und Bergingenieure, Studierende der Naturwissenschaft, der Forstkunde und Landwirtschaft. 3. Aufl. 13 Mk. Hannover, M. Jünecke, 1908.
- E. Weinschenk, Petrographisches Vademekum. Freiburg, Herder, 1907. 3 Mk. Versucht die Gesteinskunde ohne Berücksichtigung des mikroskopischen Strukturbildes darzustellen. Taschenformat, für Exkursionen.
- P. Wagner, Grundfragen der allgemeinen Geologie. Leipzig, Quelle und Meyer, 1912. 1,25 Mk. Soll eine Ergänzung zu vorliegendem Lehrbuch für fortgeschrittenere Schüler bilden; behandelt solche Fragen ausführlicher, die noch im Streite der Meinungen stehen.
- A. Berg, Einführung in die Beschäftigung mit der Geologie. Jena, Fischer, 2 Mk. Elementar und wegen der reichlichen Literaturhinweise recht brauchbar.
- Joh. Walther, Vorschule der Geologie. 4. Aufl. Jena, G. Fischer, 1910. 3,20 Mk. Viele Anleitungen zu Beobachtungen und Versuchen.
- H. Haas, Unterirdische Gluten. Berlin, Schall, 1910. 10 Mk. Bringt die einzelnen vulkanischen Theorien.
- M. Neumayr, Erdgeschichte. Leipzig, Bibl. Inst. 2 Bände, 1895. 32 Mk. Dynamische und historische Geologie in ausgezeichnete Darstellung, viel Abbildungen, anschauliche Schilderungen.
- F. Löwl, Geologie. Leipzig-Wien, F. Deuticke, 1906. 12,60 Mk. Faßt die Hauptsachen der Petrographie und Geologie mit besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse des Geographen zusammen.
- E. Kayser, Abriss der allgemeinen und stratigraphischen Geologie. Stuttgart, F. Enke, 1915. 15 Mk. Treffliche moderne Zusammenfassung des Stoffes, Auszug aus dem großen zweibändigen „Lehrbuch“ des Verf.
- O. Herrmann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie. Berlin, Gebr. Borntraeger, 2. Aufl. 1917. 11,50 Mk. Ausgezeichnet für solche, die Geologie praktisch verwerten wollen (Baufach, Ingenieure).
- Zittel, Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie). 2 Bände. Bd. I: Invertebrata. 3. Aufl. 1910. Bd. II: Vertebrata. 18 Mk. bzw. 18,50 Mk. München, R. Oldenbourg. Klassisches Buch, überaus reich an Originalabbildungen. Streng wissenschaftlich.
- Steinmann, Einführung in die Paläontologie. 2. Aufl. Leipzig, Engelmann, 1907. 14 Mk. Enthält auch die Pflanzenpaläontologie.
- E. Fraas, Der deutsche Petrefaktensammler. Ein Leitfaden zum Sammeln und Bestimmen der Versteinerungen Deutschlands. Stuttgart, Lutz, 1910. 72 Tafeln mit gegen 2000 Abb., 10 Textfig. Für Mitglieder des Deutschen Lehrervereins für Naturkunde 3 Mk. Die billigste und volkstümlichste Petrefaktenkunde.
- Ernst Freiherr Stromer von Reichenbach, Lehrbuch der Paläozoologie. 2 Teile. I. Teil: Wirbellose Tiere. Mit 398 Abbildungen. gr. 8. 1909. geb. 10 Mk. Setzt besonders zoologische Kenntnisse voraus, weil es vom vergleichend anatomischen Standpunkt bearbeitet ist; streng wissenschaftlich. Vorzügliche Bilder.

- II. Teil: Wirbeltiere. Mit 234 Abbildungen. gr. 8. 1913. geb. 10 Mk. Leipzig, B. G. Teubner.
- K. Wanderer, Tierversteinerungen aus der Kreide Sachsens. Jena, S. Fischer, 1909. 3 Mk. Gute Tafeln, für Sammler im Elbsandsteingebirge. Text elementar.
- K. Walter, 12 Tafeln der verbreitetsten Fossilien aus dem Buntsandstein und Muschelkalk der Umgebung von Jena. Jena, G. Fischer. 3 Mk. Für die meisten Triasgebiete brauchbar.
- J. Walther, Lehrbuch der Geologie Deutschlands. 2. Aufl. Leipzig, Quelle u. Meyer, 1912. 7,60 Mk.
- Lepsius, Geologische Karte des Deutschen Reichs im Maßstab 1 : 500 000. 27 Blatt à 2 Mk., auch einzeln käuflich.
- Regelmann, Geol. Übersichtskarte von Württemberg und Baden usw. 1 : 600 000. 8. Aufl. Stuttgart, Lindemann, 1911. Mit Erläuterungen. 3,60 Mk. Ausgezeichnet.
- Credner, Geol. Übersichtskarte des Kgr. Sachsen. 1 : 250 000. Leipzig, Engelmann, 1908. 6 Mk. Daneben die wesentlich einfachere Übersichtskarte 1 : 500 000. 0,60 Mk.
- Ferner die amtlichen Spezialkarten 1 : 25 000 mit Erläuterungsheften, soweit erschienen.

Sachregister.

- Abkühlungsklüfte 87.
Abraumsalze 27.
Absonderung 76. 87.
Abstammungslehre 180.
Abtragung 92.
Achat 43.
Achsen 186.
Achsenkreuz 186.
Aggregatzustände 182.
Aktinolith 72.
Alabaster 24.
Alaun 23.
Albit 70.
Alluvium 176.
Almandin 119.
Alpen 15. 169.
Alpine Trias 158.
Aluminiumsilikat 67.
Amalgam 122.
Amethyst 40.
Amphibol 72.
Amphibolit 79.
Amphibolschiefer 79.
Ammoniten 159. 161.
Amorph 42. 182.
Andalusit 67.
Anhydrit 23.
Annularia 154.
Anthrazit 52.
Anorthit 70.
Antimon 135.
Antimonsilberblende 122.
Antilopen 175.
Äolische Sedimente 9.
Apatit 44. 74.
Aquamarin 119.
Ära 139.
Aragonit 33.
Archaisches Zeitalter 141.
Archaische Schiefer 143.
Archäopteryx 163.
Armfüßer 32. 145. 147.
Arsen 135.
Arsenikies 121. 133.
Arsensilberblende 122.
Artesische Brunnen 63.
Asbest 68. 73.
Asche 11.
Asphalt 47.
Atmosphäre 136.
Atmosphärien 86.
Ätna 104.
Atoll 58.
Atrium 98.
Aufschluß 4.
Augit 73.
Auskeilen 4.
Austern 165.
Avanturin 43.
Azoische Periode 141.
Bandachat 38. 43.
Bankung 76. 83.
Bären 176.
Barre 26.
Barysphäre 136.
Baryt 124.
Basalt 81.
Basische Eruptivgesteine 85.
Baumfarne 155.
Belemnit 162. 167.
Berggold 122.
Bergkristall 40.
Bergmehl 41.
Bergwerk 124. 136.
Bernstein 50. 169.
Beryllium 119.
Berstungsklüfte 61. 87.
Beuteltier 160.
Bimsstein 83.
Binge 129.
Binnenseen 6. 158. 168.
Biolithe 45.
Bittersalz 26.
Bitumen 46.
Bituminierung 46.
Biotit 72.
Blaue Erde 169.
Blaugrund 117.
Blätterraugit 73.
Blattverschiebung 57.
Blei 134.
Bleiglanz 123. 134.
Blenden 123.
Blockmeere 91.
Blockstrand 7.
Bohnerz 131.
Bohrlöcher 136.
Bomben 100.
Bonebed 160.
Borax 209.
Boraxperlen 209.
Borsäure 73. 113.
Bort 116.
Brachiopoden 145. 147.
Brauneisenerz 131.
Brauner Jura 161.
Braunkohle 50. 169.
Braunspat 34.
Braunstein 134.
Brechung des Lichts 33. 116.
Breccie 16. 117.
Breccienmarmor 32.
Brillant 116.
Bronze 128.
Bronzezeit 179.
Bruchgebirge 56.
Buntkupferkies 126.
Buntsandstein 19. 159.
Calamites 155.
Caldera 108.
Caliche 28.
Cañons 95.
Carbonado 116.
Carnallit 27.
Cephalopoden 149.
Ceratites 159.
Ceratodus 160.
Chalzedon 37.
Chemische Niederschläge
3. 20.
Chemische Untersuchung
209.
Chemische Verwitterung 88.
Chirotherium 19.
Chilispeter 28.
Chlor 20.
Chloride 26.
Chlorit 68. 72.
Chloritschiefer 72. 143.
Chlorkalium 26.
Chlormagnesium 26.
Chlornatrium 20.
Chlorsilber 122.
Chromisenstein 133.
Chrysopras 43.
Culm 151.
Cuvier 179.
Dachsädel 155.
Darwin 180.
Decksand 10. 174.

- Delta 6.
 Dendriten 89.
 Denudation 92.
 Devon 150.
 Diabas 79. 147. 150.
 Diallag 73.
 Diamant 116.
 Diatomeen 40.
 Dichroismus 73.
 Dichte 208.
 Diluvium 170.
 Dimorph 34.
 Diorit 78.
 Diskordant 56.
 Dogger 161.
 Dolerit 81.
 Dolinen 89.
 Dolomit 34.
 Donnerkeil 162. 167.
 Dornstein 23.
 Doppelbrechung 33.
 Doppelspat 33.
 Dreikanter 10. 175.
 Druckschieferung 61. 87.
 Dünen 9.
 Dünnschliffe 75.
 Dyas 155.
 Dynamische Geologie 1.
 Dynamometamorphose 144.

 Effloreszieren 22.
 Einfallen 60.
 Einsprenglinge 79.
 Einsturzbeben 63.
 Eintrocknungsklüfte 3. 87.
 159.
 Eis 12.
 Eisen 130.
 Eisenblüte 34.
 Eisenglanz 131.
 Eisenglimmer 131.
 Eisenkies 132.
 Eisenkiesel 43.
 Eisenrogenstein 131.
 Eisenrosen 131.
 Eisenspat 34. 132.
 Eisenzeit 179.
 Eiszeit 14. 170.
 Elbsandsteingebirge 17. 91.
 167.
 Elektrum 122.
 Elemente 20.
 Endmoränen 14. 174.
 Eocän 168.
 Epochen 139.
 Erbsenstein 30.
 Erdbeben 63.
 Erdfälle 88.
 Erdharz 47.

 Erdöl 26.
 Erdpech 47.
 Ergußgesteine 110.
 Erosion 93.
 Erratische Blöcke 14. 173.
 Eruption 100. 157.
 Eruptivgesteine 110.
 Erze 122.
 Erzgänge 123. 127.
 Erzmittel 124.
 Explosionsbeben 63.
 Explosionskrater 104.

 Fahlerz 123.
 Fallen 60.
 Falten 58.
 Faltengebirge 58. 152. 168.
 Faltenüberschiebung 59.
 Farbe 182.
 Farbenzerstreuung 116.
 Faser gypsum 24.
 Fäulnis 45.
 Faulschlamm 45.
 Fazies 140.
 Feldspat 68.
 Feldspatbasalt 81.
 Festungsachat 43.
 Feuerstein 43. 173.
 Felsenmeere 91.
 Findlinge 14. 173.
 Firnfeld 13.
 Fische 151.
 Flachmoor 47.
 Flaser gabbro 79.
 Flügelfisch 151.
 Flugsaurier 162.
 Fludalstruktur 80. 110.
 Fluorit 113.
 Fluoreszenz 114.
 Flußspat 113.
 Flußtrübe 3.
 Flysch 169.
 Foraminiferen 9. 31. 165.
 Formation 139.
 Fossilien 140.
 Fruchtschiefer 112.
 Fritungen 111.
 Fumarolen 104.

 Gabbro 79.
 Galmei 314.
 Gang 123. 127.
 Gangart 124.
 Garbenschiefer 112.
 Gare 76. 87.
 Garnierit 134.
 Gasevolutionstheorie 138.
 Gebirgsbildung 55. 58.
 Gemmen 38.

 Geothermische Tiefenstufe
 137.
 Gerölle 3.
 Geschiebedecksand 174.
 Geschiebelehm 17. 173.
 Geiser 136.
 Gekröse gips 24.
 Geysir 35. 136.
 Giftkies 133.
 Gips 23.
 Glanz 182.
 Glaskopf 131.
 Glaukonit 17.
 Gletscher 12. 96.
 Gletschertöpfe 94.
 Gletscherschliff 96. 173.
 Gliederfüßer 150.
 Glimmer 71.
 Glimmerschiefer 72. 143.
 Glimmersyenit 78.
 Gneis 77. 143.
 Gold 120.
 Goldseifen 121.
 Goniometer 183.
 Graben 57.
 Gradierwerk 23.
 Granat 119.
 Granit 74.
 Granitgneis 77. 143.
 Granitporphyr 77.
 Granulit 77. 143.
 Graphit 53.
 Graptolithen 148.
 Grauwacke 18.
 Grünsandstein 17.
 Grünstein 79.
 Grundgebirge 141.
 Grundmoräne 14. 173.
 Grundwasser 61.
 Gruppen 140.

 Haarspalten 86.
 Haeckel 181.
 Halbflächner 192.
 Hangendes 54.
 Harnisch 56.
 Härte 22.
 Härteskala 206.
 Harz 207.
 Harzkohle 50.
 Heger 4.
 Heliotrop 43.
 Hebungen 57.
 Hemieder 192.
 Hexagonales System 32. 39.
 201.
 Hippuriten 166.
 Hochmoor 47.
 Höhlenlöwe 176.

- Holoöder 192.
 Holzstoff 45.
 Horizontalpendel 65.
 Hornblende 72.
 Hornblendeporphyr 80.
 Hornblendeschiefer 72.
 Hornfels 112.
 Hornschiefer 112.
 Hornsilber 122.
 Hornstein 43.
 Horst 57.
 Humus 48. 90.
 Hüengraber 179.
 Hyazinth 119.
 Hydrosphäre 136.
 Hygroskopisch 26.
 Hypothese 2.

 Ichthyosaurus 162.
 Imprägnation 127. 130.
 Inkohlung 46.
 Inlandeis 14. 171.
 Isländischer Doppelspat 33.
 Isomorphismus 34.

 Jaspis 43.
 Jura 161.
 Juraperiode 161.

 Kainit 27.
 Kalisalpeter 28.
 Kalkalgen 31.
 Kalksinter 29.
 Kalkstein 29.
 Kalkspat 32.
 Kalktuff 31.
 Kambrium 144.
 Känelkohle 46.
 Känozoische Zeit 168.
 Kantengerölle 10. 175.
 Kantenwinkel 184.
 Kant-Laplace 138.
 Kaolin 89. 114.
 Karbon 151.
 Karneol 43.
 Karrenfeld 88.
 Katzenauge 43.
 Katzensgold 2.
 Kaustobilität 45.
 Kesselbruch 57.
 Kesselstein 30.
 Keuper 160.
 Kies 4.
 Kieselgur 43. 46.
 Kieselsäure 36. 66.
 Kieselnschiefer 43.
 Kieselnsinter 36.
 Kieselstein 35.
 Kieselzinkerz 134.

 Kieserit 27.
 Klamm 94.
 Klingstein 83.
 Knochenfische 167.
 Knollensteine 169.
 Knotenglimmerschiefer 112.
 Knotentonschiefer 112.
 Kochsalz 21.
 Kohlen 50. 151.
 Kohlendioxyd 45. 112.
 Kohlensäure 45. 112.
 Kohlenstoff 45.
 Kombinationen 191.
 Konglomerat 16. 157.
 Koniferen 157. 159.
 Konkordant 55.
 Konkretionen 41.
 Kontakthof 112.
 Kontaktmetamorphose 112.
 Kontaktgesteine 112.
 Kopal 50.
 Kopffüßer 149.
 Korallen 31. 147. 150.
 Koralleninseln 58.
 Korund 118.
 Krater 99.
 Kreide 31. 164.
 Kreuzschichtung 5. 10. 17.
 Kristalläpfel 148.
 Kristallinische Schiefer 143.
 Kristallographie 1.
 Kristallsysteme 189.
 Kristallwasser 23.
 Kritische Temperatur 137.
 Kupfer 125.
 Kupferglanz 126.
 Kupferkies 126.
 Kupferlasur 126.
 Kupfernickel 134.
 Kupferschiefer 127. 158.

 Labradorit 70.
 Lakkolith 109.
 Lamarek 180.
 Lapilli 99.
 Laplace 138.
 Laterit 90. 157.
 Lava 100.
 Lehm 15. 90.
 Leitfossilien 140.
 Lepidodendron 155.
 Lettenkohle 160.
 Leuzit 70.
 Leuzitbasalt 81.
 Lias 161.
 Lichtbrechung 33. 116.
 Lignit 50.
 Liegendes 54.
 Limonit 131.

 Lithographischer Schiefer 32. 163.
 Lithosphäre 136.
 Löslichkeit 3. 21. 23.
 Lose 76. 87.
 Löß 11.
 Lößkindel 11.
 Luft 136.
 Luftsattel 59.
 Lurchfische 160.

 Maar 104.
 Mächtigkeit 4.
 Magma 109.
 Magnesiaglimmer 72.
 Magnesium 67.
 Magnetspat 34.
 Magnet Eisen 132.
 Magnetkies 133.
 Malachit 126.
 Malm 161.
 Mammut 171.
 Mandeln 37.
 Mandelstein 81.
 Mangan 134.
 Manganoxyd 89.
 Marienglas 24.
 Markasit 132.
 Marmor 32.
 Massengesteine 74.
 Matratzen 91.
 Meer 24.
 Meersalze 25.
 Meerschäum 67.
 Megatherium 170.
 Melaphyr 81.
 Mergel 15. 90.
 Milchquarz 43.
 Miocän 168.
 Minette 131.
 Mofetten 103.
 Molasse 169.
 Mond 106.
 Mondkrater 106.
 Monoklines System 24. 194.
 Moränen 13.
 Morion 43.
 Mulde 59.
 Mull 50. 90.
 Muschelkalk 31. 159.
 Muskovit 71.
 Mutterlauge 26.
 Mutterlauge salze 27.

 Nagelfluh 16. 169.
 Naphtha 46.
 Natrium 20.
 Natronsalpeter 28.
 Natronsyenit 70.

Nautilen 149.
 Nautilus 149.
 Nehrung 9.
 Nephelin 71.
 Nephelinbasalt 81.
 Nickel 134.
 Nummuliten 31. 169.
 Oberflächengesteine 85. 110.
 Obsidian 82.
 Ocker 131.
 Oligocän 168.
 Oligoklas 70.
 Olivin 67.
 Onyx 38. 43.
 Opal 43.
 Organogen 31.
 Orthoklas 69.
 Ortstein 48.
 Oser 175.
 Paläontologie 2.
 Paläozoisches Zeitalter 144.
 Parameter 186.
 Pechkohle 50.
 Pechstein 80.
 Pegmatit 77.
 Perioden 142.
 Peripherische Herde 109.
 Perm 142.
 Petrefakten 140.
 Petrographie 1.
 Petroleum 46.
 Pferd 175.
 Phonolith 83.
 Phosphate 44.
 Phosphor 44.
 Phosphoreszenz 114.
 Phosphorit 44.
 Phosphorsäure 44.
 Phyllit 143.
 Phytogen 31.
 Plagioklas 69.
 Plänerkalk 164.
 Platin 134.
 Plattenkalk 32.
 Pliocän 168.
 Polarisieren 75.
 Polierschiefer 41.
 Polyhalit 27.
 Porphyr 79.
 Porphyrit 79.
 Porphyrtuff 80. 111.
 Porzellanerde 89.
 Prähistorie 176.
 Präkambrium 147.
 Pressungsklüfte 61.
 Profil 5.
 Pseudomorphosen 127.

Pyrit 132.
 Pyrolusit 134.
 Pyrop 119.
 Pyrosphäre 136.
 Pyroxen 73.
 Quadersandstein 17. 164.
 Quadratisches System 193.
 Quartär 170.
 Quarz 35.
 Quarzit 41. 143.
 Quarzitschiefer 143.
 Quarzporphyr 79.
 Quecksilber 134.
 Quellen 61.
 Quellen, heiße 36. 136.
 Quertäler 95.
 Radiolarien 9.
 Radium 135.
 Raseneisenstein 131.
 Rauchquarz 40. 43.
 Reguläres System 196.
 Reibungsbreccie 56.
 Reißblei 53.
 Rhyolith 82.
 Rhombisches System 189.
 Rhomboeder 32. 202.
 Rhombendodekaeder 197.
 Riesengranit 77.
 Riffkorallen 31. 176.
 Rogenstein 32.
 Rosenquarz 43.
 Rosette 117.
 Roteisen 131.
 Rötel 132.
 Rotgüldigerz 122.
 Rotkupfererz 126.
 Rotliegendes 157.
 Rotnickelkies 134.
 Rubin 118.
 Rückzugscaldera 108.
 Rundhöcker 96.
 Rutil 20.
 Rutschflächen 56.
 Salpeter 28.
 Salzgärten 26.
 Sand 4. 8. 10.
 Sandr 174.
 Sandstein 17.
 Sandstrand 8.
 Sanidin 69.
 Saphir 119.
 Sapropel 45.
 Sarder 43.
 Sardonyx 43.
 Sattel 59.
 Scheiteltäler 95.

Schicht 54.
 Schichtenfolge 54.
 Schichtfugen 87.
 Schichtgesteine 16.
 Schichtquelle 62.
 Schieferton 20.
 Schieferungsflächen 61. 87.
 Schlamm 8.
 Schleppung 60.
 Schlickstrand 8.
 Schlotten 88.
 Schmelzschupper 151.
 Schörl 73.
 Schotterterrasse 4.
 Schreibkreide 31.
 Schuppenbaum 155.
 Schütterlinien 65.
 Schwalbenschwanz 24.
 Schwämme 147.
 Schwefel 113.
 Schwefelkies 132.
 Schwefeldioxyd 112.
 Schwefelsäure 89.
 Schwemmland 4.
 Schwerspat 3. 124.
 Sedimente 3.
 Seerz 131.
 Seelilien 150. 163.
 Seifen 122.
 Seismometer 64.
 Senkungen 57.
 Serie 140.
 Serpentin 68. 115.
 Siehdünen 10.
 Siegelbaum 155.
 Signaturen 6.
 Silber 122.
 Silberblende 122.
 Silberglanz 122.
 Silur 147.
 Sinter 36.
 Skalenoeder 33.
 Smaragd 119.
 Smirgel 118.
 Solfatara 101.
 Sölle 175.
 Somma 98.
 Spaltalgen 40.
 Spaltbarkeit 21.
 Spaltenfrost 87.
 Spaltquelle 63.
 Spateisenstein 34 132.
 Speckstein 67.
 Spezifisches Gewicht 208.
 Spiegel 56.
 Spinell 119.
 Springquellen 31. 36. 136.
 Sprudelstein 30.
 Sprunghöhe 56.

Stachelhäuter 148.
 Staffelbruch 57.
 Stalagmiten 29.
 Stalaktiten 29.
 Starsteine 42.
 Staßfurt 27. 158.
 Stauckegel 108.
 Steinkohle 50. 152.
 Steinkohlenzeit 51. 151.
 Steinsalz 22.
 Steinschwämme 147.
 Steinsohle 4.
 Steinzeit 178.
 Steppensalz 22.
 Stinkkalk 46.
 Stoßbeben 64.
 Strahlstein 72.
 Strandlinien 58.
 Streichen 60.
 Stromstrich 3. 94.
 Strudellöcher 94.
 Struktur 74.
 Stübel 98. 109.
 Suspendieren 3.
 Süßwasserquarzit 41.
 Syenit 78.
 Sylvin 27.
 Symbole 187.
 Symmetrie 184.
 System 139.
 Talk 87.
 Talkschiefer 87.
 Tektonik 63.
 Tektonische Beben 63.
 Tellurisches Eisen 130.
 Tertiär 168.
 Tetragonales System 193.
 Teufelsfinger 73.
 Theorie 2.
 Tiefseeschlamm 8. 31.
 Tiefengesteine 85. 110.
 Tiefenstufe 187.

Tigerauge 43.
 Tintenfische 149. 162.
 Ton 20. 89.
 Toneisenstein 132.
 Tonerde 89.
 Tonschiefer 20. 144.
 Topas 114.
 Torf 47.
 Trachyt 81.
 Transgression 55. 165.
 Travertin 31.
 Trias 158.
 Trichteröffnung 7.
 Triebssand 63.
 Triklines System 196.
 Trilobiten 146. 147.
 Tripel 41.
 Trockenrisse 8. 19.
 Tropfstein 30.
 Trümer 123.
 Trümmerachat 39. 43.
 Trümmergesteine 16.
 Tuffe 11. 111. 157.
 Tundren 171.
 Türkis 119.
 Turmalin 73.
 Überfaltungsdecken. 60
 Überflutung 55. 165.
 Übergreifende Lagerung 55.
 Überschiebung 60.
 Überfallquelle 63.
 Umbra 50.
 Uranpecherz 135.
 Urmeer 138.
 Urnen 178.
 Urschiefer 143.
 Urstromtäler 174.
 Urtiere 145.
 Urzeit 141.
 Vermoderung 45.
 Vertorfung 45.

Verwerfung 55.
 Verwesung 45.
 Verwitterung 86.
 Verwitterungserde 90.
 Vesuv 98.
 Vollflächner 192.
 Vorproben 209.
 Vulkane 11. 98.

Wachs 47.
 Wälderkohle 164.
 Waldmoore 47.
 Waschgold 122.
 Wasser 3.
 Wasserhorizont 62.
 Wealden 164.
 Wellenfurchen 8. 19.
 Weißstein 143.
 Widmannstätten 130.
 Wisent 176.
 Wolframerz 129.
 Wollsäcke 91.
 Würmer 148.
 Wüsten 10. 19.

Zechstein 158.
 Zellstoff 45.
 Zement 6.
 Zeolith 115.
 Zerreißungsklüfte 61.
 Zinkblende 123.
 Zinkspat 134.
 Zinn 128.
 Zinnstein 128.
 Zinnober 134.
 Zirkon 119.
 Zonen 183.
 Zoogen 31.
 Zuwachsnah 39. 124.
 Zwillinge 24. 128. 200.
 Zwischeneiszeit 172.
 Zwitterband 128.
 Zwitterstock 129.





BIBLIOTEKA GŁÓWNA

100209N/1