

minerale

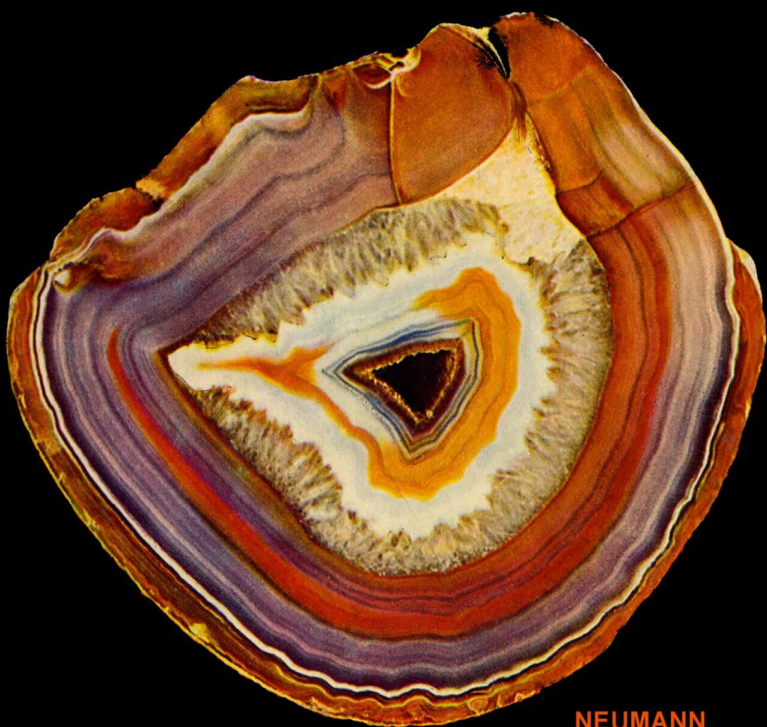
ROLF SEIM

ENTSTEHUNG

VORKOMMEN

BESTIMMUNG

VERWERTUNG



NEUMANN
VERLAG

SEIM | MINERALE

Minerale

<i>Entstehung</i>	<i>Vorkommen</i>
<i>Bestimmung</i>	<i>Verwertung</i>

Von Professor Dr. habil. ROLF SEIM

NEUMANN VERLAG

Schwarzweißphotos: Dipl.-Chem. Jürgen Eidam
Das Farbbild für den Schutzumschlag,
Achat aus der Mineralsammlung der Bergakademie Freiberg,
photographierte H. Braune
Textillustrationen
nach Handskizzen des Verfassers: Heinz Rzepka

1. Auflage · 1970

Alle Rechte dieser Ausgabe vorbehalten.

**Der Vertrieb in Westdeutschland, Westberlin, Österreich und
in der Schweiz ist nicht gestattet.**

© Neumann Verlag Radebeul · Lizenz Nr. 151 · 310/32/70 ES 18 F

Satz und Druck: Offizin Andersen Nexö, Leipzig

Bindearbeit: Großbuchbinderei H. Sperling, Leipzig

Druckstöcke: Druckerei Tribüne, Leipzig und

Graphische Kunstanstalt Gerstner & Co, Leipzig

Schutzumschlag- und Einbandgestaltung

sowie Typographie: Heinz Rzepka

VORWORT

Dieses Buch wurde für die Freunde der Mineralwelt geschrieben. Es soll ihnen helfen, die Minerale praktisch zu bestimmen. Jedoch begnügt es sich nicht damit, die wichtigsten Bestimmungsdaten zusammenzustellen, sondern es möchte erst einmal ein Fundament schaffen, das den Mineralliebhaber die größeren Zusammenhänge verstehen lehrt: den Aufbau der Erdrinde aus den verschiedenen Gesteinen, die Zusammensetzung der Gesteine aus den Mineralen und schließlich auch die Bildung der Minerale aus den Elementen. Ja, das Buch geht noch weiter. Es weist auf den Feinbau der Elemente hin, aus dem sich letztlich bestimmte Eigenschaften der Minerale erklären lassen.

In einem ausführlichen ersten Teil werden also viele Fragen beantwortet, die bei jedem auftauchen, der sich intensiv mit Mineralen beschäftigt. Wir lernen, was wir unter einem Mineral zu verstehen haben, wie es zu den verschiedenen Gestalten der Minerale kommt und welche chemischen Bestandteile sie aufbauen. Aber auch die physikalischen Eigenschaften der Minerale werden beschrieben. Der Frage, wie die Minerale und damit auch die Gesteine entstanden sind, wird ein umfangreiches Kapitel gewidmet. Alle diese Ausführungen geben einen Überblick über die Gesetzmäßigkeiten der Mineralwelt und vermitteln damit gleichzeitig die Kenntnisse, die für die praktische Bestimmung eine wesentliche Voraussetzung sind.

Im zweiten Teil sind 282 Minerale beschrieben worden, und zwar in bezug auf ihre äußeren Kennzeichen. Eine kurze Anleitung, wie man an Hand dieser Beschreibungen die Minerale bestimmen kann, geht diesem Teil voraus. Wer sich erst einmal in die Technik der Mineralbestimmung eingearbeitet hat, dem wird es nicht schwerfallen, die Mehrzahl der verbreiteten Minerale richtig anzusprechen. Skizzen der Kristallgestalten und zahlreiche Mineralfotos bieten dabei wesentliche Hilfe. Um einen Einblick in die vielfältigen Erscheinungsformen häufiger Minerale zu geben, wurden von manchen Arten mehrere Kristallskizzen und Fotos zusammengestellt.

Es ist weitgehend darauf verzichtet worden, in die Bestimmungslisten Angaben aufzunehmen, die für die Bestimmung nicht unbedingt nötig sind. Aus diesem Grunde wird die Verwendung der Minerale in einem folgenden Teil gesondert beschrieben. Der Leser erfährt, wie die wichtigsten Elemente und Verbindungen bzw. Mineralrohstoffe im Bereich der Technik und Industrie verwertet werden. Eine Zusammenstellung der häufigsten Edelsteine beschließt das Buch. Von jedem Edelstein werden einige äußere Kennzeichen genannt, damit man sich in diesem für viele so anziehenden Sondergebiet zurechtfinden kann.

Das Buch möchte nicht nur dem Mineralfreund in der geschilderten Form ein Ratgeber sein, sondern darüber hinaus in Schülern der allgemeinbildenden Schulen das Interesse für den Stoffbestand der Erdkruste wecken. Das Wissen, das Biologie-, Physik- und Chemieunterricht von den Erscheinungsformen und Gesetzen der Natur vermitteln, wird durch die spezielle Kenntnis der Minerale erweitert und vertieft.

Verlag und Verfasser bitten alle Leser, auf mögliche Mängel des Buches hinzuweisen und Vorschläge zu unterbreiten, die seinen Wert für die praktische Mineralbestimmung erhöhen. Im voraus sei ihnen dafür gedankt.

Rostock, im Frühjahr 1970

ROLF SEIM

INHALT

Erster Teil

Was ist ein Mineral?	25
Mineralnamen	27
Die Verwendung der Minerale	28
Künstliche Minerale	30
Struktur und Gestalt der Minerale	32
Feinbau der Kristalle	34
Gestalt der Kristalle	44
Gesetz der Winkelkonstanz	44
Rationalitätsgesetz und Flächenbezeichnung	46
Kristallsysteme und Achsenkreuze	51
Symmetrieeigenschaften der Kristalle	53
Zur Ausbildung natürlicher Kristalle	62
Wachstumsstörungen	63
Kristallverwachsungen	64
Pseudomorphosen	65
Mineralaggregate	66
Physikalische Eigenschaften der Minerale	68
Farbe und Strich	68
Glanz und Durchsichtigkeit	74
Härte	76
Spaltbarkeit und Bruch	77
Dichte	78
Lumineszenz	83
Andere physikalische Eigenschaften	85
Chemische Zusammensetzung der Minerale	86
Atombau und chemische Elemente	86
Chemische Zusammensetzung der Erdkruste	96
Chemische Zusammensetzung der Minerale	98
Chemische Einteilung der Minerale	102
Einfache chemische Bestimmungen	108
Die Bildungsweise der Minerale	117
Die magmatische Abfolge	132
1. Magmatische Mineralbildung	135
2. Pegmatitisch-pneumatolytische Mineralbildung	139
3. Hydrothermale Mineralbildung	143
Die sedimentäre Abfolge	146
1. Die mechanischen Sedimentgesteine	149
2. Die chemischen und chemisch-biogenen Sedimentgesteine ...	151
Die metamorphe Abfolge	163

Einige praktische Ratschläge für den Mineralsammler	172
Mineralverzeichnis	177

Zweiter Teil

Hinweise zur Mineralbestimmung	181
Hilfsmittel zur Mineralbestimmung	183
Schlüssel für die Mineralbestimmung	184

Gruppe I: Metallisch glänzende Minerale

Farbe:

1. Silberweiß	185
2. Grau	194
3. Schwarz	212
4. Gelb	214
5. Rot	220

Gruppe II: Halbmimetallisch glänzende Minerale und nichtmetallisch glänzende Minerale, die einen farbigen Strich geben

Strichfarbe:

1. Schwarz und grau	224
2. Braun	231
3. Rot	243
4. Gelb	248
5. Grün	260
6. Blau	266

Gruppe III: Nichtmetallisch glänzende Minerale mit grauem, weißem oder ohne Strich

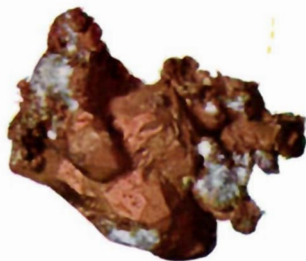
Härte:

1. Sehr weich (1-3)	268
2. Weich (3-4)	316
3. Mittelhart (4-5)	335
4. Hart (5-6)	345
5. Sehr hart (über 6)	375

Verwendung der Mineralrohstoffe	395
Vorkommen der chemischen Elemente	397
Industriemineralien	419
Edelsteine	423
Durchsichtige Edelsteine	429
Undurchsichtige und durchscheinende Edelsteine	435
Sachverzeichnis	441



Obere Reihe: 15 Graphit (S.194) 51 Nickel (S.223) *2. Reihe:* 50 Bornit u. Kupferkies (S.222) 19 Antimonit (S.196) *3. Reihe:* 21 Bleiglanz (S.198) 44 Magnetkies (S.217) *Untere Reihe:* 191 Siderit (S.336) 42 Kupferkies (S.216)

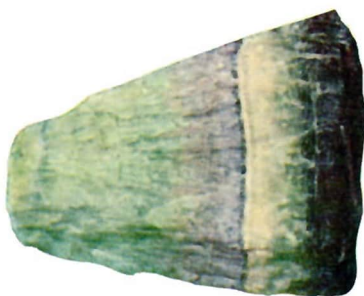


Obere Reihe: 16 Molybdänglanz (S. 194) 45 Pyrit (S. 218) 2. Reihe: 42 Kupferkies auf Dolomit (S. 216) 63 Zinkblende (S. 231) 3. Reihe: 4 Silber (S. 186) 48 Kupfer (S. 220) Untere Reihe: 40 Gold (S. 214) 48 Kupfer (S. 220)



Obere Reihe: 27 Tetraedrit (S. 202) 67 Wolframit (S. 234) *2. Reihe:* 52 Covelin (S. 224) 33 Chloanthit (S. 210) *3. Reihe:* 66 Manganit (S. 233) 85 Hämatit (S. 247) *Untere Reihe:* 64 Wurtzit (S. 232) 53 Pyrolusit (S. 224)

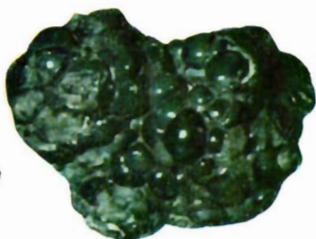
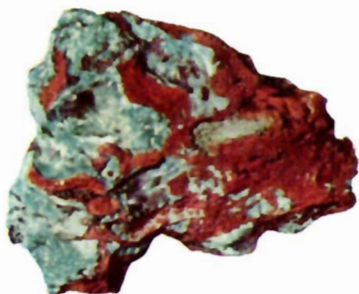




Ob. Reihe: 179 Aragonit (S.327) 166 Baryt (S.318) 2. Reihe: 179 Aragonit (S.327)
 166 Baryt (S.318) 3. Reihe: 189 Fluorit (S.335) 166 Baryt u. Antimonit
 (S.318) Untere Reihe: 189 Fluorit und Bleiglanz (S.335) 189 Fluorit (S.335)



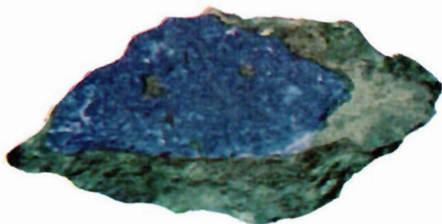
Oben: 127 Schwefel (S.275) *Unten:* 87 Autunit (S.248)



Ob. Reihe: 119 Aurichalzit (S. 270) 177 Wavellit (S. 326) 2. *Reihe:* 180 Pyromorphit (S. 328) 86 Auripigment (S. 248) 3. *Reihe:* 99 Annabergit (S. 255) 106 Malachit (S. 262) *Unt. Reihe:* 80 Erythrin (S. 243) 80 Erythrin (S. 243)



Obere Reihe: 175 Adamin (S. 324) 249 Benitoit (S. 373) 2. Reihe: 168 Zölestin (S. 320) 245 Prehnit (S. 370) Untere Reihe: 183 Heulandit (S. 330) Lazulith (S. 105)

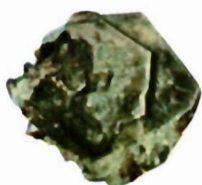


Obere Reihe: 109 Azurit (S.265) 163 Wulfenit (S.298) 2. Reihe: 93 Kakoxen
 (S.252) 107 Dioptas (S.263) 3. Reihe: 47 Proustit (S.220) 163 Wulfenit
 (S.298) Untere Reihe: 91 Gummit (S.250) 111 Linarit (S.266)

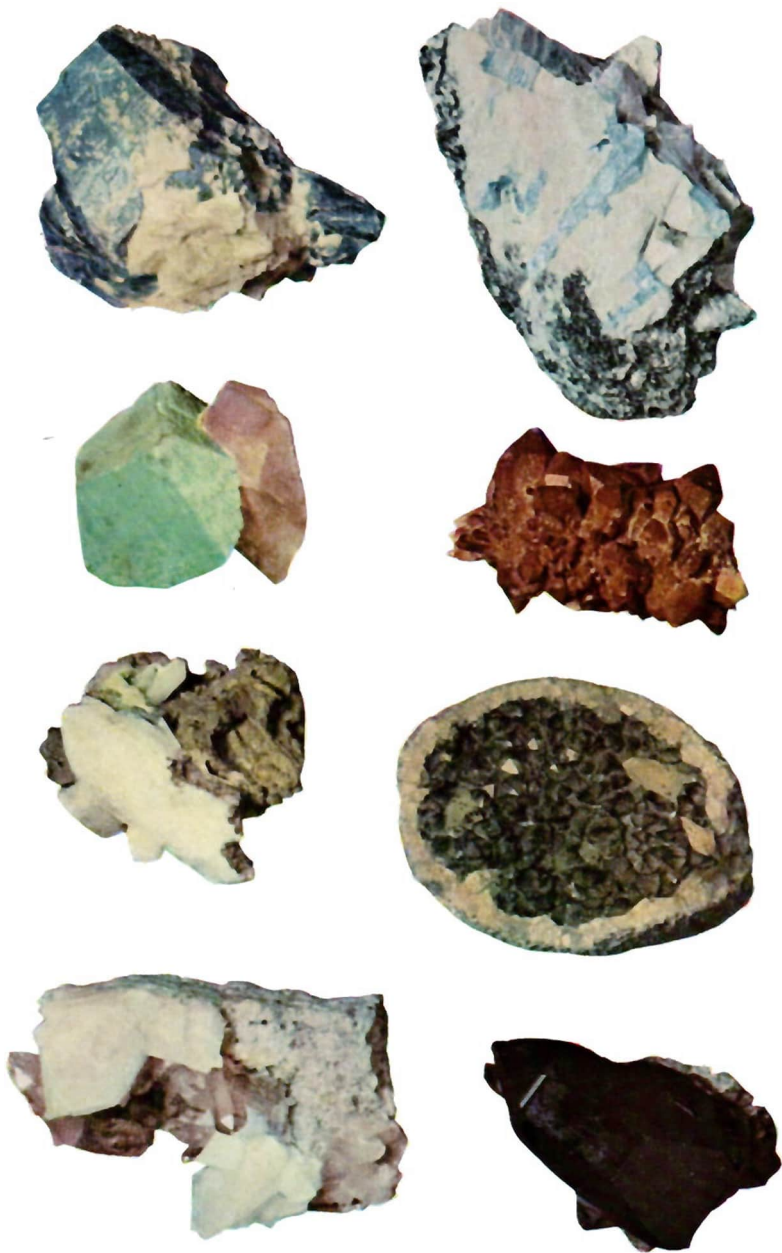




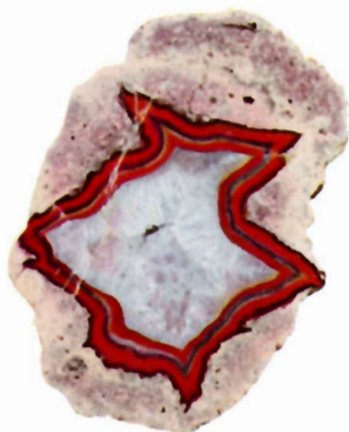
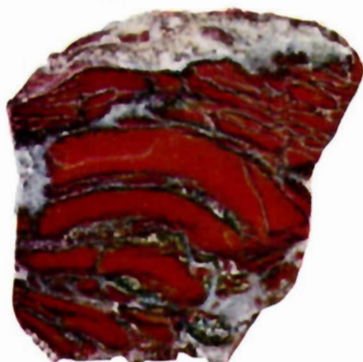
Obere Reihe: 272 Borazit (S.387) 168 Zölestin (S.320) 2. Reihe: 180 Pyromorphit (S.328) 164 Vanadinit (S.317) 3. Reihe: 167 Zerussit (S.320) 253 Axinit (S.375) Untere Reihe: 167 Zerussit (S.320) 200 Scheelit (S.342)



Obere Reihe: 154 Biotit (S. 291) 260/5 Granat (S. 380) *2. Reihe:* 132 Muskovit (S. 278) 213 Diopsid (S. 351) 254 Olivin (S. 376) *Untere Reihe:* 252 Epidot (S. 375) 236 Orthoklas (S. 365) und 266 Rauchquarz (S. 381)



Obere Reihe: 281 Korund (S. 393) 190 Disthen (S. 336) 2. Reihe: 235 Amazonit (S. 365)
 266 Quarz, Eisenkiesel (S. 381), 3. Reihe: 182 Desmin (S. 330) 266 Quarz (S. 381)
 Untere Reihe: 236 Adular (S. 365) und 266 Rauchquarz (S. 381) 266 Rauchquarz (S. 381)



SiO₂-Gruppe *Obere Reihe:* 241 Holzopal (S.368) 266 Amethyst (S.381)
2. Reihe: 266 Trümmerjaspis (S.381) 266 Achat (S.381) *Untere Reihe:* 266
 Bergkristall (S.381) 266 Chrysopras (S.381)



Schmucksteine Obere Reihe: 106 Malachit (S. 262) 187 Rhodochrosit (S. 333) 2. Reihe:
266 Rosenquarz (S. 381) 278 Topas (S. 390) 3. Reihe: 266 Karneol (S. 381) 241 Opal
(S. 368) Untere Reihe: 266 Trümmerachat (S. 381) 266 Tigerauge (S. 381)



Edelsteine Obere Reihe: Spinell S.391 u. 433 Turmalin S.386 u. 431 Korund S.393 u. 429 Rubin (3 Kristalle) S.429 2.Reihe: Saphir S.429 Diamant S.394 u. 429 Diamant S.394 u. 429 Diamant S.394 u. 429
 3.Reihe: Zirkon S.431 Rubin S.429 4.Reihe: Aquamarin S.430 Topas S.390 u. 432 Turmalin S.386 u. 431 Untere Reihe: Rubin (synthetisch) S.429 Saphir (synthetisch) S.429 Padparadscha (synthetisch)

ERSTER TEIL

WAS IST EIN MINERAL?

Unsere Erde, eine etwas abgeplattete Kugel mit einem Radius von 6378 km am Äquator, hat einen schalenförmigen geologischen Bau. Die äußerste dieser Schalen nennt man *Erdkruste*. Sie ist nicht überall gleich dick; im Gebiet der Kontinente erreicht sie eine Mächtigkeit zwischen 30 und 50 km, unter den Ozeanen nur zwischen 10 und 12 km. Die Erdkruste ist – gemessen an der gesamten Erdkugel – einer dünnen Haut vergleichbar. Sie wird vom sogenannten Erdmantel durch eine physikalische Unstetigkeitsfläche getrennt, an welcher die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen der Erdbeben von etwa 5 km/sec auf 8 km/sec ansteigt. Die Trennfläche wird nach dem Belgrader Geophysiker, der diese Tatsache zuerst feststellte, als Mohorovičić-Diskontinuität, kurz „Moho“, bezeichnet.

Über die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Erdinneren sind wir auf Vermutungen angewiesen, nur der Stoffbestand der Erdkruste ist unserer Beobachtung zugänglich. Die Erdoberfläche ist nicht unverändert starr, sondern manche Gebiete werden unmerklich abgesenkt und andere herausgehoben. Das Material an den herausragenden Teilen verwittert, wird abgetragen und lagert sich in den Mulden ab: Auf diese Weise erhalten wir Einblick in die Zusammensetzung ehemals tiefer liegender Bereiche. Aber auch Bohrungen, von denen mehrere bis über 7000 m in die Tiefe drangen, geben uns Kenntnis vom oberen Teil der Erdrinde.

Wir wollen uns an einer beliebigen Stelle den Stoff dieser Erdkruste anschauen und begeben uns deshalb in einen Granitsteinbruch. Die Boden- decke und der Verwitterungsschutt, welche die Beobachtung sonst stören, wurden dort als Abraum beiseite geschafft. Wenn wir das Material betrachten, fällt uns zuerst auf, daß sich der Granit aus verschiedenen Bestandteilen zusammensetzt. Im Handstück erkennen wir reichlich grauweiße Bestandteile, deren glatte Flächen deutlich spiegeln. Es handelt sich dabei um *Feldspat*. Ebenfalls in größerer Menge ist rauchgrauer, muschelig brechender *Quarz* enthalten. Eine dritte Komponente ist schwarzbraun und kommt blättchenförmig vor. Sie wird *Biotit* genannt. Der Granit besteht demnach, soweit sich das mit bloßem Auge erkennen läßt, aus drei Gemengteilen (Abb. 1, S. 33). Eine genaue chemische und physikalische Untersuchung dieser Gemengteile würde ergeben, daß sie jeweils charakteristische Eigenschaften besitzen: Sie haben eine ganz bestimmte chemische Zusammensetzung, eine bestimmte Dichte, und die einzelnen chemischen Elemente sind in ihnen gesetzmäßig angeordnet.

Diese stofflich einheitlichen, natürlichen Bestandteile der Erdkruste bezeichnen wir als Minerale.

An unserem Beispiel sehen wir, daß die Minerale als Gemenge vorkommen können. Bei der bisherigen Untersuchung der zugänglichen Erdkrustengebiete hat sich gezeigt, daß sich ganz bestimmte Mineralvergesellschaftungen an verschiedenen Stellen wiederholen. Offenbar wird in der Natur unter den gegebenen Bedingungen nur ein Teil aller theoretisch denkbaren Mineralgemenge gebildet. Es ist üblich, die natürlichen Mineralaggregate als *Gesteine* zu bezeichnen, wenn sie einen größeren Raum einnehmen und als selbständige geologische Körper auftreten. Demgegenüber spricht man von *Minerallagerstätten*, wenn es sich um mengenmäßig untergeordnete Vorkommen von Mineralaggregaten handelt, die in den Gesteinen eingelagert sind.

Sowohl bei den Gesteinen als auch bei den Minerallagerstätten haben wir es mit höheren Einheiten zu tun, die sich von den Mineralen durch ihre wechselnde Zusammensetzung unterscheiden. Im Granit zum Beispiel können die einzelnen Bestandteile in unterschiedlichen Mengen vorhanden sein. Erst wenn ein Mineral stark zurücktritt oder ganz verschwindet und durch ein anderes ersetzt wird, entsteht ein anderer Gesteinstyp. Während somit der Stoffbestand eines Gesteins und einer Minerallagerstätte in der Regel Schwankungen unterliegt, hat ein Mineral eine bestimmte chemische Zusammensetzung.

Zwischen den Gesteinen als Mineralgemengen und den eigentlichen Mineralen hat wohl erstmalig der schwedische Forscher Axel Friedrich Freiherr von CRONSTEDT in seinem 1758 erschienenen „System der Mineralogie“ unterschieden.

Da die meisten Gesteine als Mineralgemenge erkennbar sind, lassen sich Minerale und Gesteine im allgemeinen leicht auseinanderhalten. Nur bei sehr feinkörnigen Gesteinen, die im Handstück dicht erscheinen, wird erst eine mikroskopische Untersuchung anhand eines etwa 0,02 bis 0,03 mm dünnen Präparates, des Gesteinsdünnschliffes, den Aufbau aus mehreren Komponenten verdeutlichen. Vor der Einführung der Gesteinsdünnschliffe in der Mitte des vorigen Jahrhunderts war eine sichere Unterscheidung nicht möglich, so daß manche Gesteine für derbe oder dichte Minerale gehalten wurden. Durch mikroskopische Untersuchung hat wahrscheinlich zuerst H. FISCHER 1869 solche dichte Massen als Mineralgemenge gekennzeichnet.

Am Aufbau der Erdkruste beteiligen sich etwa 1700 Minerale. Das ist, wenn man an die Unmenge der Pflanzen- und Tierarten denkt, eine verhältnismäßig geringe Anzahl. Hinzu kommt, daß nicht alle eine gleich große Bedeutung haben. Nur etwa 300 Minerale sind so verbreitet, daß ihre Bestimmung nach äußeren Kennzeichen wünschenswert erscheint. Auf sie beschränken sich die in diesem Buch zusammengestellten Angaben zur Bestimmung. Die Mehrzahl der übrigen, zumeist sehr seltenen Minerale ist oft nicht leicht zu erkennen. Bei ihnen wird sich auch der Mineraloge spezieller Methoden, die ein entsprechendes Fachwissen voraussetzen, bedienen.

Die häufigen und verbreiteten Minerale sind heute bekannt. Trotzdem werden noch immer bislang unbekannte Bauelemente der Erdkruste gefunden. Durch eine verfeinerte Untersuchungsmethodik, mit der auch die Zusammensetzung winziger Partikeln genau erfaßt werden kann, und durch die inten-

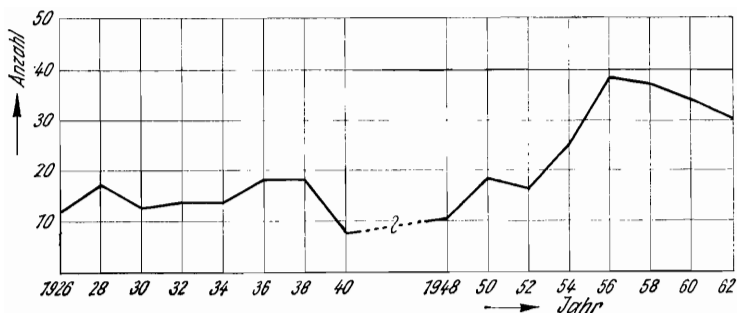


Abb. 2: In der Zeit von 1926 bis 1962 entdeckte Minerale

sive geologische Erforschung der bisher weniger bekannten Gebiete hat sich in letzter Zeit die Zahl der jährlich entdeckten Minerale sogar erhöht, wie aus einer Zusammenstellung hervorgeht (Abb.2).

Jährlich werden etwa 20 bis 40 neue Minerale beschrieben. Dabei handelt es sich allerdings meist um sehr seltene Bildungen, die man oft nur in kleinen Mengen und an wenigen Orten der Erde findet.

Wir dürfen erwarten, daß in den kommenden Jahrzehnten neben den Mondproben auch Materie von der Oberfläche anderer Planeten in unsere Hände gelangt. Aus unseren bisherigen Kenntnissen über die Mineralbildung werden wir dann auf die Bedingungen schließen können, unter denen andere Weltkörper entstanden. Durch die Erforschung des Weltraumes eröffnen sich also auch der Mineralogie – der Wissenschaft, die sich mit den Eigenschaften und der Entstehung der Minerale beschäftigt – ganz neue Gebiete. Die Untersuchung der Meteorite ist der Ausgangspunkt dieser „kosmischen Mineralogie“.

Mineralnamen

Mit der Zahl der Minerale darf die Zahl der etwa 6200 Mineralnamen nicht verwechselt werden. Nicht wenige Minerale haben zwei oder mehr Namen. Einige Bezeichnungen für Abarten, die sich in der Farbe, der Gestalt usw. unterscheiden, sind berechtigt und haben sich eingebürgert. Viele Namen stellen jedoch einen unerwünschten Ballast dar, der leider schwer zu beseitigen ist. In den Bestimmungstabellen sind alle verbreiteten Namen aufgeführt.

Für die Benennung der Minerale gibt es im Gegensatz zur Zoologie und Botanik keine Regeln. Einige Beispiele mögen verdeutlichen, welche Gesichtspunkte bei der Namengebung maßgebend waren:

Adular nach dem Fundort Mons Adula im St.Gotthardgebiet

Biotit zu Ehren des französischen Gelehrten J.B.Biot

Chloanthit aus griech. chloa = junges Grün, antheo = hervorsprossen: das Mineral überzieht sich mit einem grünen Beschlag
Desmin von griech. desme = Bündel: nach der bündelförmigen Gestalt
Euklas von griech. eu = wohl und klasis = Spaltung: nach der guten Spaltbarkeit
Fahlerz nach der fahlgrauen Farbe
Graphit von griech. graphein = schreiben: das Mineral färbt ab
Hyalit von griech. hyalos = Glas: wegen der Durchsichtigkeit
Ilvait nach der Insel Elba, lat. Ilva
Jodargyrit nach der chemischen Zusammensetzung: Jod und griech. argyros = Silber
Karpholith von griech. karphos = Stroh: wegen seiner strohgelben Farbe und lithos = der Stein
Ludwigit nach Prof. Ludwig, der das Mineral analysierte
Markasit nach der alchemistischen Bezeichnung für Schwefelverbindungen = marcasitae.

Diese Liste ließe sich fortführen, aber wir ersehen schon aus den wenigen Beispielen, daß die Minerale entweder nach auffälligen Eigenschaften benannt wurden oder daß sie nach der chemischen Zusammensetzung, dem Verhalten bei der chemischen Untersuchung, nach dem Fundort oder nach Personen, vor allem Naturwissenschaftlern, ihren Namen erhielten.

Die Verwendung der Minerale

Minerale werden in vielfältiger Weise genutzt. In erster Linie gewinnt man Grundstoffe und Verbindungen aus ihnen, die von der chemischen und metallverarbeitenden Industrie benötigt werden. Mineralrohstoffe, aus denen die Hüttenbetriebe chemische Elemente erschmelzen, nennen wir *Erze*. In diesen Erzen sind chemische Elemente stärker als durchschnittlich innerhalb der Erdkruste enthalten. In welchem Maße einige wichtige Metalle in einer bauwürdigen Lagerstätte angereichert sein müssen, zeigt die folgende Tabelle (S. 29).

Die Stoffsonderungsvorgänge, die zur Entstehung von Erzlagerstätten führen, sind vielfach sehr kompliziert. Eine erste und grundlegende Materialsonderung fand wahrscheinlich in einer sehr frühen Entwicklungsstufe der Erde statt. Wir nehmen an, daß im noch flüssigen Erdball drei nicht mischbare Schmelzen entstanden. Die schwerste Schmelze, im wesentlichen aus Eisen und Nickel bestehend, bildete den Erdkern mit der Dichte 8 und einem Radius von etwa 3500 km. Eine leichtere Schmelze brachte die aus Sulfiden und Oxiden von Schwermetallen bestehende 1700 km mächtige Zwischenschale von der Dichte 5 bis 6 hervor. Aus der leichtesten Schmelze entwickelte sich die ca. 1200 km dicke Silikatschicht der Erde, die im inneren Teil eine Dichte von 3,6 bis 4 und im äußeren, etwa 120 km mächtigen Teil eine Dichte von 2,8 aufweist.

Durchschnittsgehalt einiger Elemente in der 16-km-Erdrinde und Mindestgehalt dieser Elemente in bauwürdigen Erzvorkommen
(nach H. SCHNEIDERHÖHN, 1962)

Metall	Durchschnittsgehalt der Erdrinde in %	Mindestgehalt in einer Lagerstätte	Anreicherung
Al	8,13 %	30 %	3,7 ×
Fe	5,00	25–30 %	5–6 ×
Mn	0,1	35 %	350 ×
Cr	0,02	30 %	1500 ×
Ni	0,008	1,5 %	188 ×
Zn	0,008	4 %	500 ×
Cu	0,007	1 %	140 ×
Sn	0,004	1 %	250 ×
Pb	0,0016	4 %	2500 ×
Ag	0,00001	500 g/t	5000 ×
Au	0,0000005	5–10 g/t	1000–2000 ×

Weitere Elementkonzentrationen fanden im Rahmen der vielfältigen Materialumlagerungen innerhalb der äußeren Erdhülle statt. Zu diesen geologischen Vorgängen rechnen wir die Verwitterung, den Transport fester oder gelöster Substanzen in den Flüssen und im Meer, aber auch das Aufdringen von Schmelzen aus größeren Tiefen und die Wiederaufschmelzung fester Gesteine. Sie vollzogen sich in einem Zeitraum von vielen Hundertmillionen Jahren. Die Gesetze, nach denen die chemischen Elemente im Erdkörper verteilt sind, erforscht die *Geochemie*.

Während manche Metalle, wie Eisen, Kupfer und Zinn, schon in ältesten Zeiten gewonnen wurden, ist die Gewinnung anderer Metalle noch jung. Aluminium wird erst seit 1886 industriell verwendet, nachdem HALL und HEROULT die elektrolytische Darstellung dieses Metalls aus einer Aluminiumoxidschmelze mit Kryolithzusatz entwickelten. Wir können uns heute das Leben ohne Aluminiumlegierungen nicht vorstellen: Im Flugzeugbau, in der Elektrotechnik, in der Leichtindustrie usw. sind sie unentbehrlich. Eine nicht geringe Zahl von Elementen wird erst seit den letzten Jahrzehnten industriell gewonnen, seitdem die Technik sich stürmisch entwickelt und – denken wir nur an den Bau von Atomkraftwerken und Raketen – nach Werkstoffen mit enormer Hitzebeständigkeit verlangt. Es stellte sich heraus, daß viele „seltene Metalle“ solche Eigenschaften aufweisen. Bor zum Beispiel hat durch seine Fähigkeit, Neutronen in hohem Maße zu absorbieren, in der Kerntechnik zur Steuerung des Neutronenflusses in Kernreaktoren große Bedeutung erlangt. Auch Beryllium, Gallium, Germanium und eine Reihe weiterer seltener Metalle werden in immer größerem Umfang verwendet. Minerale, die solche Elemente enthalten und früher wirtschaftlich uninteressant waren, sind zu wertvollen Rohstoffen geworden.

Die Minerale sind jedoch nicht nur Ausgangsmaterial für die Metallgewinnung, sondern auch für feuerfeste Massen, die die Stahlindustrie benötigt. Aus Mineralen fertigt man keramische Produkte, Porzellan und Steingut. Mineralische Rohstoffe werden von der Textil-, Farbstoff-, Papier- und Glasindustrie verwertet. Sie dienen als Steinsalz unserer Ernährung unmittelbar und tragen in Form der Kalidüngemittel auf dem Umweg über die Landwirtschaft zur Verbesserung unserer Ernährung bei.

Auf Grund bestimmter physikalischer Eigenschaften werden in der optischen Industrie und anderen Industriezweigen Minerale zu Bauelementen verarbeitet. Aus Fluorit fertigt man spezielle Mikroskop-Objektive, die „Fluoritsysteme“. Isländischer Doppelspat, ein klar durchsichtiger Kalzit, war lange Zeit unersetzlich für die Herstellung von Polarisatoren, mit denen linear polarisiertes Licht für die mikroskopische Gesteinsuntersuchung erzeugt wird. Für Schneiden und Auflagen empfindlicher Analysenwaagen bevorzugt man noch heute den harten Achat. Mit Diamant als Besatz von Bohrkronen kann selbst das härteste Gestein durchbohrt werden. Korund und Granat erwiesen sich als geeignete Schleifmittel. Quarz hat die Eigenschaft, in einem hochfrequenten elektrischen Schwingungsfeld in mechanische Resonanzschwingung versetzt zu werden; das läßt ihn als Steuer- oder Schwingquarz von Sendern unentbehrlich erscheinen. Er wird aber auch zur Erzeugung von Ultraschallwellen und für den optischen Gerätebau benötigt. Man könnte noch weitere *Industrieminerale* aufzählen, aber wir wollen uns zunächst mit wenigen Beispielen begnügen.

Jedermann weiß, daß manche Minerale als *Edel- und Schmucksteine* verwendet werden. Hier sind es vor allem ästhetische Gesichtspunkte, die zu einer Auswahl führten. Neben dem Glanz, einer schönen Farbe, einem Farbenspiel oder irgendwie auffallenden optischen Erscheinungen zeichnet die meisten Edelsteine eine gewisse Härte aus.

Künstliche Minerale

Es wird nicht verwundern, daß die Wissenschaftler versucht haben, nutzbare Minerale im Laboratorium herzustellen. Die „Vorversuche“ für diese Mineralsynthesen erledigte die Natur, denn aus dem natürlichen Vorkommen lassen sich bereits wichtige Hinweise auf die Bedingungen ableiten, unter denen die Minerale entstehen.

Die synthetischen Minerale haben die gleiche chemische Zusammensetzung und die gleiche Struktur wie die entsprechenden natürlichen Bildungen. Der Vorteil der Mineralzüchtung liegt darin, daß die Industrie von den Naturvorkommen unabhängig wird und dadurch viele Stoffe in breiterem Maße verwendet werden können. Da sich das Mineralwachstum im Labor besser steuern und kontrollieren läßt, sind die künstlichen Minerale zudem oft mit weniger Fehlern behaftet als die natürlichen.

Eine der ältesten technisch durchführbaren Synthesen ist die seit 1910 übliche Züchtung von Korund und Spinell in Verneuil-Öfen, die in ganzen

Serien aufgestellt werden. Ausgangsmaterial für die Korunderzeugung ist Tonerde. Indem man dieser Tonerde färbende Metalloxide zusetzt, kann man auch Saphir und Rubin, zwei Edelsteinvarietäten des Korunds, züchten. Um Spinell künstlich herzustellen, wird chemisch reine voluminöse Tonerde mit Magnesiumoxid vermischt. Bei einer Temperatur von 2000°C schmilzt die Masse im Verneuil-Ofen, tropft auf einen Schamottestift und erstarrt dort. Die Oberfläche wird flüssig gehalten, und durch die auftropfende Substanz vergrößert sich das künstliche Mineral, wobei es eine birnenförmige Gestalt annimmt (Abb. 3).

Wurden am Anfang vor allem Edelsteine künstlich hergestellt – im Jahre 1935 gelang sogar die Synthese des wertvollen Smaragdes –, so sind später auch viele Industriemineralien im Labor gezüchtet worden. Heute entstammt der überwiegende Teil der Lagersteine für Uhren und Analysenwaagen industriellen Fertigungsstätten. Auch die Fluoritobjektive werden nunmehr fast ausschließlich aus künstlichem Fluorit gefertigt. Quarzkristalle können aus sehr heißen wässrigen Lösungen in beträchtlicher Größe gewonnen werden, wie unser Bild zeigt (s. Abb. 3).

Schließlich glückte es 1954, auch den Diamanten zu erzeugen, nachdem viele vorausgegangene Versuche fehlgeschlagen waren. Für die Diamantsynthese sind enorm hohe Drucke und Temperaturen erforderlich, wie sie in der Erde erst in erheblicher Tiefe herrschen, und zwar Temperaturen zwischen 1200 und 3000°C und Drucke zwischen 75000 und 120000 atm. In einigen Ländern gibt es Apparaturen für die Herstellung von Diamanten. Inzwischen wurden aus den Labors Fertigungsstätten, die heute verschiedene Industriezweige mit diesem härtesten aller Minerale beliefern.

STRUKTUR UND GESTALT DER MINERALE

Das augenfälligste Merkmal vieler Minerale besteht darin, daß sie ebenflächig begrenzte Körper bilden können, wie sie uns aus der Raumlehre als Vielflächner (Polyeder) bekannt sind. Solche Körper werden sich aber nur dort entwickeln, wo das Wachstum der Minerale nicht behindert ist.

So konnten sich zum Beispiel, als der Granit aus einer Schmelze kristallisierte, in kleinen gasgefüllten Räumen die Minerale einzeln und ebenflächig begrenzt ausbilden, die im Granit zusammengesetzt in Erscheinung treten. In der benachbarten Masse des Gesteins war diese Flächenentwicklung nicht möglich, weil sich die Bestandteile bei ihrem Wachstum gegenseitig behinderten. In den Hohlräumen aber, den sogenannten Drusen, finden wir Glimmer in sechsseitigen Tafeln, Quarz als sechsseitige Säulen, die an einem Ende zugespitzt sind, und gedrungene Körper von Feldspat.

Auch in Erzgängen, den gefüllten Gesteinsspalten, treffen wir auf Minerale mit gut entwickelter äußerer Form. Die gleichen Minerale sind oft im kompakten Erz in derben, unscheinbaren Massen enthalten. Nur selten entwickeln die Minerale Einzelkörper mit ebenen Umgrenzungsflächen, denn meist ist nicht genügend Raum für ein unbehindertes Wachsen vorhanden. Berühmt sind die Kristallhöhlen der Alpen, wo eines der in der Erdkruste häufigsten Minerale, der Quarz, in völlig durchsichtigen Körpern mit gut spiegelnden Flächen vorkommt. Diese Ausbildungsweise des Quarzes bezeichnen wir als *Bergkristall*. Im Altertum galt der Bergkristall als besonders fest gefrorenes Eis (griech. kristallos = Eis); von ihm leitete sich das Wort *Kristall* ab. Später nannte man alle ebenflächig begrenzten anorganischen Naturkörper Kristalle. Der Laie verbindet heute noch die gleiche Vorstellung mit diesem Begriff.

Bei der Erforschung der Minerale wurde erkannt, daß die äußere Form nicht von vorrangiger Bedeutung ist. Von dem inneren Aufbau, der *Struktur*, werden die Eigenschaften der Minerale bestimmt! Die Spaltbarkeit, die Härte, das optische Verhalten der Minerale *und* ihre Gestalt sind der Ausdruck einer inneren Ordnung. Von diesem Gesichtspunkt aus unterscheiden wir Minerale mit ungeordnetem inneren Aufbau – sie sind bei weitem in der Minderzahl – und solche, deren innerer Aufbau geordnet ist. In der Wissenschaft bezeichnete man nun zunächst alle Minerale mit geordnetem Innenaufbau als Kristalle. Schließlich übertrug man diesen Begriff auf alle festen Stoffe, die eine gesetzmäßige Atomanordnung aufweisen, so daß heute auch künstliche Stoffe „Kristalle“ genannt werden können. Nach der von J. DALTON 1807 aufgestellten Hypothese sind Atome die kleinsten, chemisch nicht weiter zerlegbaren Teilchen der Elemente (griech. atomis = unteilbar).

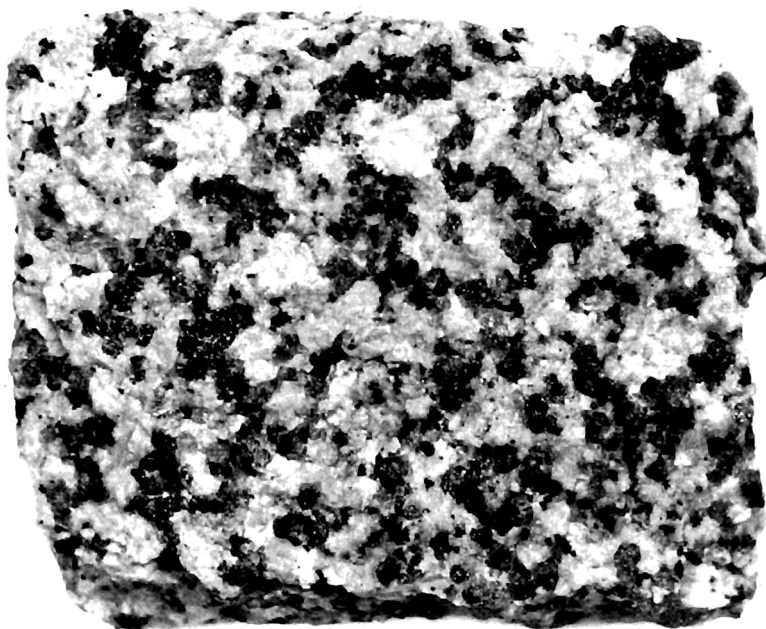
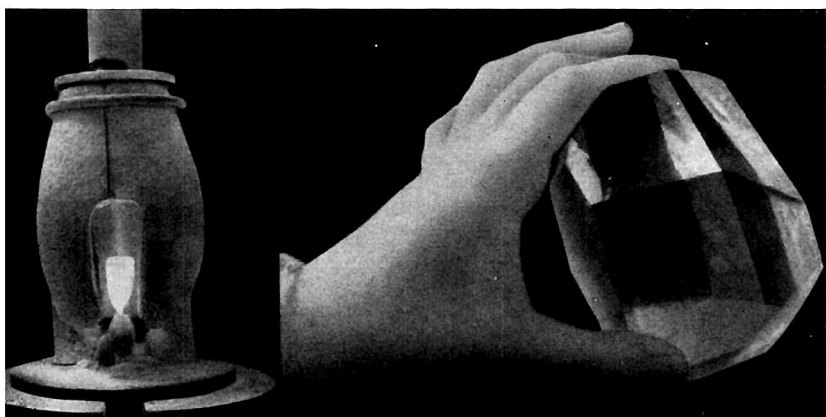


Abb. 1: Handstück eines Granits, in dem weißer Feldspat, grauer Quarz und schwarzer Biotit erkennbar sind

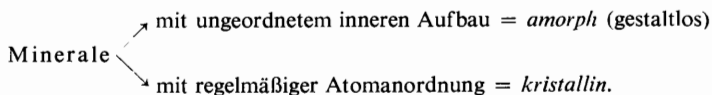
Abb. 3 (links): Ein aus der Schmelze gezüchteter, birnenförmiger Korund im Verneuil-Ofen, (rechts) Gezüchteter Quarzkristall (aus ŠMID u. KVAPIL, 1962)



Wir definieren also auf Grund neuer Erkenntnisse:

Kristalle sind feste Stoffe, deren kleinste Teilchen in gesetzmäßiger Weise angeordnet sind.

Die Minerale können wir unterteilen in



Für viele Sammler haben die kristallinen Minerale mit einer äußeren Körperform einen besonderen Reiz. Die prächtigen Kristallgruppen berühmter Mineralfundpunkte stehen auch in den mineralogischen und naturkundlichen Museen im Mittelpunkt des Interesses. Nicht selten wird die Frage gestellt, ob diese Flächen angeschliffen wurden. Wie es zur Bildung dieser Körper kommt, werden wir verstehen, nachdem der innere Aufbau der Kristalle etwas eingehender betrachtet wurde.

Feinbau der Kristalle

Die Mineralkörper ließen schon früh die Vermutung aufkommen, daß zwischen der Gestalt der Minerale und ihrem inneren Aufbau, ihrem Feinbau, enge Beziehungen vorhanden sind. So vertrat bereits GUGLIELMINI 1688 die Ansicht, daß die Kristalle aus einer Vielzahl winziger Materialteilchen beständen, die die gleiche Form wie der Gesamtkörper haben. Er bezeichnete sie als „letzte Teilchen der Materie bestimmter Form“. Für einen würfelförmigen Kristall, wie er uns beim Flußspat oder Bleiglanz begegnet, wurde somit angenommen, er sei aus lauter kleinen, mit gewöhnlichen Mitteln nicht wahrnehmbaren Würfelchen zusammengesetzt. Diese winzigen Würfel sollten alle Eigenschaften enthalten, die auch den sichtbaren Kristallkörper auszeichnen.

Ganz ähnliche Vorstellungen entwickelten später einige andern Gelehrte, indem sie Kristalle spalteten, die dabei entstehenden Teilchen untersuchten und daraus schlossen, daß die Kristalle aus lauter sehr kleinen Spaltkörpern aufgebaut sind. Besonders der Franzose R.J.HAUY (1784) hat diese Auffassung vertreten. Er nannte die kleinen, raumgleichen Teilchen „integrierende Moleküle“ und fand sogar eine Möglichkeit, mehrere voneinander abweichende äußere Formen eines Minerals aus einem einzigen Grundkörper aufzubauen.

Später stellte sich heraus, daß eine lückenlose Raumerfüllung der Kristalle mit einigen physikalischen Tatsachen im Widerspruch steht. Das trifft zum Beispiel auf die Elastizität der Kristalle oder auf die Fähigkeit mancher Minerale zu, Gase in sich zu speichern. Derartige Widersprüche heben sich auf, wenn die ziegelförmig aneinandergereihten Bauteilchen durch Massenzentren ersetzt werden. Diese Betrachtungsweise, welche davon ausgeht, daß die Materie punktförmig angeordnet ist, hat L.A.SEEBER 1824 in die

Mineralogie eingeführt. Er beschrieb die Massenzentren als Mittelpunkte kugelförmiger Teilchen, die durch einen Ausgleich zwischen anziehenden und abstoßenden Kräften in einer Gleichgewichtslage verharren und auf diese Art eine regelmäßige Punktanordnung bilden. Die Kristalle sind demnach nicht lückenlos von Materie erfüllt, sondern zwischen den Massenzentren befindet sich leerer Raum.

Da die Kristalle äußerlich als „dichte“ Körper erscheinen, war anzunehmen, daß der Abstand zwischen den einzelnen Massenzentren im Kristall sehr klein ist. Weiterhin folgerte man richtig, die Massenzentren müssen sich in den kristallisierten Mineralen – im Gegensatz zu den amorphen – in gesetzmäßiger Weise aneinanderreihen und ein sogenanntes *Raumgitter* bilden. Wir dürfen es als eine hervorragende Leistung betrachten, daß alle überhaupt möglichen Punktanordnungen – in der Kristallographie sprechen wir von Raumgruppen – bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts theoretisch abgeleitet wurden (E.v.FEDOROW 1890 und A.SCHOENFLIES 1891). Es gibt 230 gesetzmäßige räumliche Punktanordnungen. Jedes kristallisierte Mineral läßt sich einer solchen Raumgruppe zuordnen.

Aus der Optik wissen wir, daß das Licht beim Durchgang durch ein Gitter gebeugt wird. Ähnliche Erscheinungen durfte man erwarten, wenn raumgitterartig aufgebaute Materie mit Licht sehr kleiner Wellenlänge durchstrahlt würde. Es ist das Verdienst des Physikers M.v.LAUE, diesen Versuch 1912 angeregt zu haben. Als eine möglicherweise geeignete Strahlenart empfahlen sich für dieses physikalische Experiment, das von W.FRIEDRICH und P.KNIPPING durchgeführt wurde, die von C.W.RÖNTGEN 1895 entdeckten und später nach ihm benannten Strahlen. Von ihnen wußte man, daß sie feste Körper zu durchdringen vermögen.

Dem Experiment war ein voller Erfolg beschieden. M.v.LAUE und seine Mitarbeiter bewiesen damit den von SEEER vermuteten gitterförmigen Bau der Kristalle. Die regelmäßige Aneinanderreihung der kleinsten Bauteilchen stand damit fest. Gleichzeitig bestätigte dieser Versuch die Wellennatur des damals noch nicht eindeutig charakterisierten Röntgenlichts. Die Röntgenstrahlen unterscheiden sich somit vom gewöhnlichen Licht nur durch ihre viel geringere Wellenlänge. Während die sichtbaren Lichtstrahlen Wellenlängen zwischen ca. 4000 und 8000 Å aufweisen ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$, diese Längeneinheit wurde nach dem schwedischen Physiker A.J.ÅNGSTRÖM benannt), haben die Röntgenstrahlen Wellenlängen von der Größenordnung 1 Å . Ihre Wellenlänge beträgt somit etwa $1/5000$ der Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Etwa gleich große Abstände haben auch die Atome im Kristallgitter.

Bei dem Versuch von M.v.LAUE wurde ein feststehender Kristall mit weißem Röntgenlicht, das sich genau wie das normale Tageslicht aus zahlreichen Wellenlängen zusammensetzt, durchstrahlt. Hinter dem Kristall – FRIEDRICH und KNIPPING verwendeten Kupfersulfatpentahydrat – befand sich eine Fotoplatte. Auf dieser Platte verursachten die gebeugten Röntgenstrahlen punktförmige Schwärzungen. Jeder Schwärzungsfleck entspricht einer Schar paralleler Ebenen von Massenzentren des Kristallgitters (s. Abb. 4).

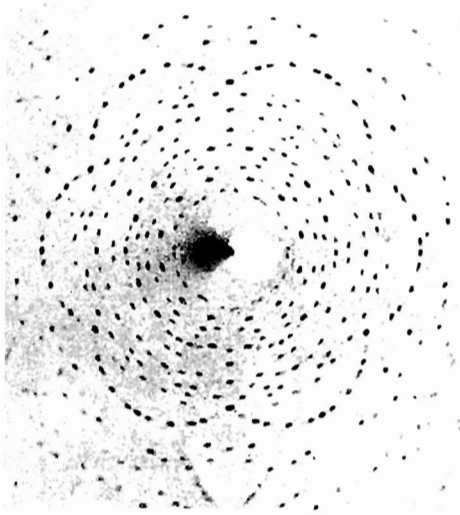


Abb. 4: Beugung von Röntgenstrahlen an einem Kristallgitter. LAUE-Aufnahme des Minerals *Beryll* (nach RINNE). Die Schwärzungspunkte ordnen sich regelmäßig an

NIELS STENSEN, dänischer Arzt und Naturforscher, entdeckte 1669 die Konstanz der Flächenwinkel (s. Seite 44)

M.v.LAUE legte damit den Grundstein für die Erforschung der gesamten kristallisierten Materie, zu der neben der überwiegenden Zahl der Minerale fast alle festen Körper zählen. Die röntgenographische Strukturuntersuchung hat sich in der Folgezeit zu einem besonderen Zweig der Wissenschaft entwickelt. Solche Untersuchungen sind nicht auf die Mineralogie beschränkt, sondern sie haben in noch größerem Maße in der Physik, der Chemie, der Werkstoffkunde und in anderen Bereichen von Wissenschaft und Technik eine große Bedeutung. Viele Eigenschaften fester Körper sind durch ihren inneren Aufbau zu erklären, so daß sich aus einer bekannten Struktur auch auf ganz bestimmtes Verhalten schließen läßt.

Röntgenuntersuchungen von Mineralen setzen umfangreiche physikalische und kristallographische Kenntnisse voraus und können deshalb nur von Fachleuten durchgeführt werden. Für diesen Zweck hat man komplizierte und dementsprechend teure Apparaturen konstruiert. Mineralsammler werden kaum Gelegenheit haben, ihre Proben zu „röntgen“. Sie sollten indessen wissen, daß damit, besonders mit einem von DEBYE und SCHERRER ausgearbeiteten Verfahren, sämtliche Minerale anhand winziger Substanzmengen schnell und eindeutig bestimmbar sind. In einigen Fällen, so bei den sehr ähnlich beschaffenen Tonmineralen, führt vor allem die Untersuchung mit Röntgenstrahlen zur eindeutigen Zuordnung. Das Röntgendiagramm ist sozusagen die Visitenkarte eines Minerals.

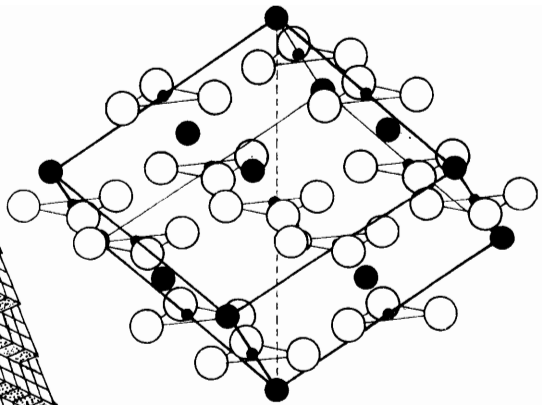
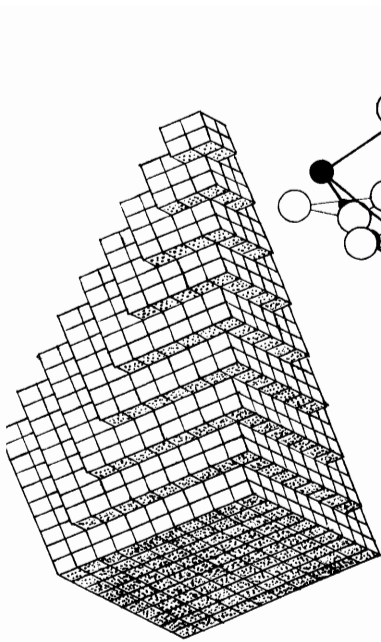


Abb. 5: Feinbau des Kalzits nach der früheren Vorstellung aus lückenlos aneinandergefügt Elementarkörpern (links) und tatsächliche Struktur dieses Minerals mit den aus röntgenographischen Untersuchungen gewonnenen Atomlagen

Wir verdeutlichen uns den Fortschritt in der Ergründung des Feinbaues der Kristalle, indem wir die beiden Auffassungen von der Struktur der Materie noch einmal einander gegenüberstellen (Abb. 5).

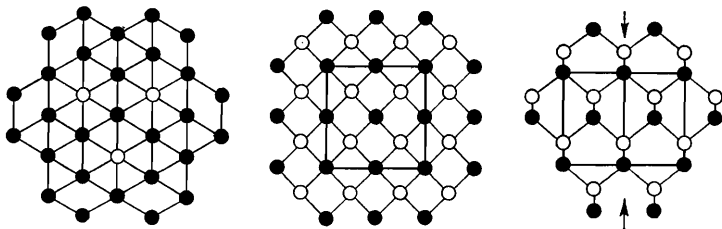
Links sehen wir den Aufbau des Kalzits aus lauter winzigen, rhomboederförmigen Teilchen, die den Spaltkörpern dieses Minerals entsprechen, so, wie ihn sich R.J.HAUY und T.BERGMANN in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts vorstellten. Demgegenüber zeigt die rechte Seite den durch Feinstrukturanalyse nachgewiesenen tatsächlichen Aufbau des Kalzits mit der Zusammensetzung CaCO_3 . Wir erkennen die von jeweils drei Sauerstoffteilchen umgebenen schwarzen Kohlenstoffatome und die dunklen Kalziumatome, die sämtlich in gesetzmäßiger Weise angeordnet sind und die den Raum – im Gegensatz zur älteren Vorstellung – nicht lückenlos ausfüllen. Der lückenhafte Aufbau der Minerale wird uns normalerweise nicht bewußt. Das ist auch nicht zu erwarten, liegen doch zum Beispiel beim Diamanten, wie TERTSCH errechnet hat, längs eines Zentimeters 65 590 196 Kohlenstoffatome nebeneinander. Erst bei milliardenfacher Vergrößerung könnten wir die einzelnen Atome wahrnehmen. Kürzlich ist es aber gelungen, Gitterebenen mit einem Abstand von 12,6 hundertmillionstel cm im Elektronenmikroskop bei 210 000 facher Vergrößerung direkt abzubilden. Versetzen wir uns mit A.E.FERSMAN, einem bedeutenden Mineralogen und Geochemiker, in diese milliardenfach vergrößerte Welt der Kristalle. Er schreibt:

„Die Welt der Gegenstände würde nicht mehr existieren: alles vor uns würde auf einmal durch die gleichen feinen und endlosen Gitter ersetzt werden. Lange Reihen würden sich nicht nur in der vor uns liegenden Ebene, wie im Walde, erstrecken, sondern auch nach oben und nach unten – nach allen Richtungen hin. Und das Gitter selbst würde nicht durch Bäume, sondern durch kleine Kügelchen gebildet werden, die in der Luft, in einer Entfernung von einigen Metern oder Dezimetern voneinander, nach einer strengen Gesetzmäßigkeit hängen würden. Jede Substanz unserer Erdkugel würde sich durch besondere Gitter unterscheiden, und in dieser geheimnisvollen Welt im Raume schwebender Kügelchen würden wir nichts außer diesen Kügelchen zu unterscheiden vermögen.“

Aus der Raumgitterstruktur der Minerale läßt sich rein geometrisch erklären, daß alle unter sich parallelen Richtungen des Gitters gleichwertig sind. Alle Gitterebenen der gleichen Raumlage haben die gleiche Punktanordnung. Diese Eigenschaft der Kristalle, d.h. die Gleichartigkeit paralleler Richtungen, nennen wir Homogenität (griech. homogenes = von gleichem Geschlecht). Im Kristall werden die Atome in bestimmten Abständen festgehalten, während die Atome oder Atomverbände von Flüssigkeiten und Gasen frei beweglich sind. Da aber die Teilchen der Gase und Flüssigkeiten sehr schnell von Ort zu Ort wechseln, erscheinen ihre Zustandsformen in den erfaßbaren Untersuchungsbereichen (millionenfache Atomabstände) ebenfalls homogen. Wir können nur den Summationseffekt ständiger schneller Veränderungen in einem Raum wahrnehmen, der im Verhältnis zu den Teilchen unendlich groß ist. Man spricht deshalb bei Gasen und Flüssigkeiten von einer statistischen Homogenität und stellt dieser scheinbaren Gleichartigkeit die *reell homogenen* Bauverbände der Kristalle gegenüber. Andererseits erweisen sich alle nichtparallelen Richtungen eines Kristalls als ungleichartig, d.h. in Ebenen, die im Raum nicht parallel liegen, sind die Atome ungleich angeordnet. Das wird uns sofort verständlich, wenn wir ein und dasselbe Gitter aus drei verschiedenen Blickrichtungen betrachten (Abb. 6).

Diese Eigenart der Kristalle, sich in nichtparallelen Richtungen ungleich zu verhalten, wird *Anisotropie* genannt (griech. an = un-, isos = gleich, tropos

Abb. 6: Gitter eines Minerals, aus drei verschiedenen Richtungen betrachtet. Man beachte die unterschiedliche Anordnung und Beteiligung der einzelnen Atome!



= Beschaffenheit). Die Abbildung 6 macht uns auf eine weitere Tatsache aufmerksam, nämlich die rhythmische Wiederholung gewisser Merkmale, die wir als Symmetrie bezeichnen. Im Bild ganz links erhalten wir bei einer Drehung von 120° um den Mittelpunkt die gleiche Kugelanordnung. Im mittleren Bild wiederholt sich die Punktanordnung bereits nach einer Drehung von 90° . Durch die Kugelanordnung im rechten Bild können wir eine Ebene so legen, daß zwei spiegelbildlich gleichartige Teile entstehen (Pfeile). Mit den Symmetrieeigenschaften werden wir uns später näher befassen. Kristalle sind schließlich *Diskontinua* (lat. discontinuus = unterbrochen), denn ihr Feinaufbau ist durch die periodischen Abstände zwischen den Massenpunkten charakterisiert. Wir fassen zusammen und definieren:

Kristalle sind reell homogene, anisotrope Diskontinua

Nachdem wir das feinbauliche Prinzip der Minerale kennengelernt haben, wollen wir die Gitterbausteine und deren Anordnung etwas eingehender betrachten. Natürlich können wir uns nicht mit den Kristallgittern aller Minerale – jedes Mineral hat sein spezielles Gitter – beschäftigen. Schon bald nach der Entdeckung der Röntgeninterferenzen durch M.v.LAUE nahmen die Engländer W.H.BRAGG und W.L.BRAGG (1913/1914) die ersten Strukturbestimmungen von Steinsalz, Kupfer, Zinkblende und Diamant vor. Heute sind die Strukturen der meisten Minerale bekannt. Mineralarten, die entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung aus wenigen Atomsorten bestehen, haben relativ einfache Gitter, während andererseits Minerale mit komplizierter chemischer Zusammensetzung einen für den Anfänger schwer überblickbaren Verband offenbaren. Fluorit mit der Formel CaF_2 besitzt ein würfelförmiges Gitter, in welchem jedes Ca von 8 F und jedes F von 4 Ca umgeben ist. Die Zahl der einen Gitterbaustein in gleicher Entfernung und Anordnung umgebenden Bausteine nennen wir auch *Koordinationszahl*. Das stöchiometrische Verhältnis im speziellen Fall des Fluorits ergibt sich zu $\text{CaF } 4/8 = \text{CaF}_2$. Betrachten wir das Fluoritgitter genau, so sehen wir, daß sich die Ca-Atome an den Ecken und in den Flächenmitten eines Würfels befinden. Die F-Atome liegen in den Viertelkörperdiagonalen der von den Ca-Atomen eingefassten Würfel (Abb.7). Wesentlich komplizierter ist demgegenüber das Gitter des Berylls mit der Formel $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Immerhin erkennen wir den ringförmigen Aufbau und darüber hinaus auch eine regelmäßige Atomanordnung (s. Abb.7). Die Kristallgitter wurden von uns bisher als Punktanordnungen aufgefaßt und die Gitterpunkte als Massenpunkte beschrieben. Ist diese Darstellung mit den Erkenntnissen der Atomphysik vereinbar? Physikalisch betrachtet besteht ein Atom aus dem Kern und Elektronen. Der Kern vereinigt in sich fast die gesamte Masse eines Atoms. Er hat einen winzigen Durchmesser von etwa 1 billionstel $\text{cm} = 10^{-4} \text{ \AA}$, ist also für unsere Begriffe tatsächlich ein punktförmiges Gebilde. Mit voller Berechtigung läßt sich behaupten, daß

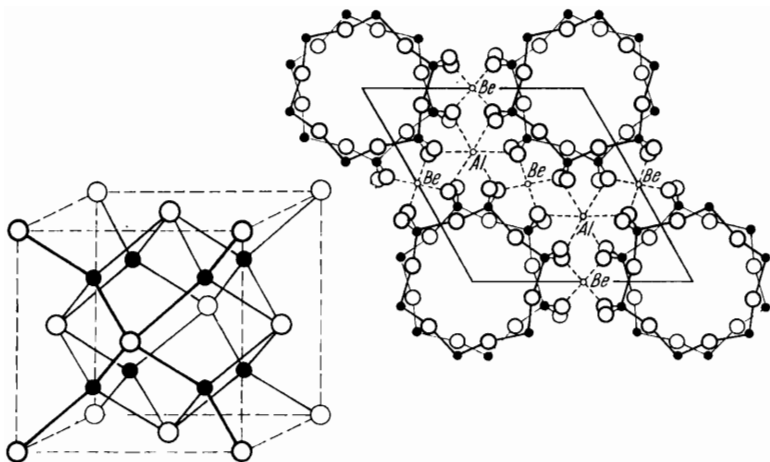


Abb. 7: Die Raumgitter von Fluorit CaF_2 und Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Fluorit (links) bildet ein einfaches Gitter mit würfeligem Aufbau; Beryll (rechts) weist eine komplizierte Ringstruktur auf, wie uns ein Blick aus einer bestimmten Richtung lehrt

fast die gesamte Materie im Kristall punktförmig verteilt ist. Die übliche Darstellung der Kristallgitter trägt dieser Tatsache Rechnung.

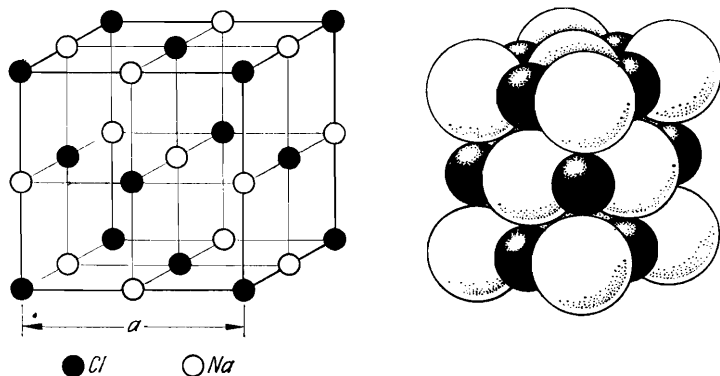
Um den Atomkern bewegen sich mit sehr großer Geschwindigkeit, den Raum gleichsam ausfüllend, die Elektronen auf mehr oder weniger kreisförmigen Bahnen. Da ein Elektron nur $1/1836$ der Masse des leichtesten Atomkerns besitzt, läßt sich seine Masse praktisch vernachlässigen. Die Elektronen, das wissen wir aus der Physik und der Chemie, sind negativ geladene Teilchen. Sie kreisen so schnell, daß sie scheinbar eine Hülle um den Atomkern bilden. Um die Entfernung des Elektrons vom Atomkern zu veranschaulichen, stellen wir uns vor, ein Atomkern habe Erbsengröße (5 mm). Dann kreist das Elektron in einem Abstand von 250 m um ihn. Wir müßten also einen Raum haben, der 500 m lang, 500 m breit und 500 m hoch ist. Jeden Atomkern umgibt eine Hülle schnell kreisender Elektronen. Der Halbmesser der Elektronenhülle ist der Wirkungsradius und damit zugleich ein Maß für den Raumbedarf des Atoms. Etwas vereinfacht können wir die Atome als kugelförmige Gebilde betrachten, so daß die Kristalle auch als Kugelpackungen aufzufassen sind (s. Abb. 8).

Die Atome sind aber keine starren Kugeln, sondern vielmehr mit elastischen Bällen vergleichbar. Ihre Größe hängt für ein und dieselbe Atomsorte von der Zahl der gleichwertigen Nachbaratome ab (Koordinationszahl). In den meisten Tabellen der chemischen Elemente wird der Atomradius eines Elements für die Koordinationszahl 12 angegeben, d.h. ein Atom ist in diesem Falle von 12 gleichartigen Atomen, deren Kerne wir uns in den Kantenmitten der zwölf Würfelkanten vorstellen können, regelmäßig umgeben. Der

Atomradius wird etwas kleiner, wenn statt der zwölf nächsten Nachbarn nur noch acht oder weniger auftreten. Der Wirkungsradius eines Atoms verändert sich ferner, wenn aus der Elektronenwolke, die den Atomkern umgibt, Elektronen verschwinden oder wenn zusätzliche Elektronen in diese Wolke gelangen. Durch diesen Vorgang wird die elektrische Neutralität des Atoms aufgehoben, denn die Zahl der Elektronen stimmt nun nicht mehr überein mit der Zahl der positiv geladenen Teilchen, der Protonen, die sich neben den elektrisch neutralen Neutronen im Atomkern befinden. Die Atome tragen jetzt positive oder negative Ladung und heißen Ionen. Ionen mit positiver Ladung nennen wir Kationen, solche mit negativer Ladung Anionen. Sind die Gitterbausteine derartige Ionen, dann sprechen wir nicht mehr vom Atomradius, sondern folgerichtig vom Ionenradius.

Die Größe der Atom- und Ionenradien wirkt sich entscheidend auf die Anordnung der Elemente im Kristall aus. Im einfachsten Falle besteht ein Mineral nur aus einem einzigen Element; wir können auch sagen, aus einer einzigen Kugelsorte. Es entstehen dann meist sehr einfache Kugelpackungen. Beim Kupfer z.B. befinden sich die Mittelpunkte (Atomkerne) der Atomkugeln mit dem Radius $1.28 \text{ \AA}$ in den Eckpunkten und den Flächenmitten eines Würfels. Kupfer hat eine würfelförmige Struktur. Verhältnismäßig unkompliziert ist auch die Struktur des Steinsalzes mit der einfachen chemischen Zusammensetzung NaCl (Abb. 8). Hier wechseln positiv geladene Natriumionen (Kationen) und negativ geladene Chloridionen (Anionen) regelmäßig miteinander ab. Steinsalz baut ein würfelförmiges Gitter aus kleinen Natriumkugeln mit dem Ionenradius $\text{Na}^+ = 0.98 \text{ \AA}$ und großen Chlorkugeln mit dem Ionenradius $\text{Cl}^- = 1.81 \text{ \AA}$ auf. Wie beim Kupfergitter besetzen auch im Steinsalzgitter jeweils 14 gleichartige Atome die

Abb. 8: Links Elementarzelle des Steinsalzes NaCl mit der Anordnung der Natrium- und Chlorionen. Die Kantenlänge des würfelförmigen Steinsalz-Elementargitters beträgt $a_0 = 5,64 \text{ \AA}$. Rechts die gleiche Zelle, dargestellt als Kugelpackung. Die großen Kugeln stellen die Chlorionen, die kleinen die Natriumionen dar



Eckpunkte und die Flächenmitten eines Würfels. Der Unterschied besteht darin, daß Kupfer ein einfaches Gitter aus Cu-Atomen aufweist, während beim Steinsalz zwei Gitter ineinandergestellt sind; eines dieser Gitter ist von Natriumionen und das andere von Chloridionen besetzt. Beide Gitter, die zusammen das Steinsalzgitter bilden, sind um den Betrag $a/2$ versetzt (a ist die Kantenlänge des Elementargitters).

Da sich im Raumgitter der Kristalle gleiche Punktanordnungen periodisch wiederholen, genügt es, einen charakteristischen Gitterausschnitt zu betrachten und zu untersuchen. Diesen Ausschnitt nennen wir *Elementarzelle*. Die Elementarzelle ist der kleinste Bereich eines Gitters, der den Aufbau des gesamten Kristalls noch eindeutig erkennen läßt. Aus der Atomanordnung in dieser Elementarzelle läßt sich die chemische Zusammensetzung des Minerals ableiten. Wir können auch umgekehrt davon ausgehen, daß ein Kristallgitter durch regelmäßiges Versetzen der Elementarzelle nach den drei Richtungen des Raumes so zustande kommt, wie aus einzelnen Ziegelsteinen ein Sockel errichtet wird. Die Abmessungen der Elementarzelle eines Minerals sind durch die oben beschriebene Untersuchung mit Röntgenlicht bestimmbar. Auch die Lage der einzelnen Atome in einer derartigen Zelle kann, wenngleich in komplizierterer Weise, festgestellt werden.

Die Elementarzelle des Steinsalzes sieht man auf Abb. 8.

Die gleiche Anordnung, wie sie im Steinsalz die Natrium- und Chlorionen aufweisen, können auch andere Atomsorten haben. Im gleichen *Strukturtypus* kristallisiert z. B. der Bleiglanz PbS. Natrium ist gegen Blei und Chlor gegen Schwefel ausgetauscht. Auch viele andere chemische Verbindungen bauen dieses Gitter auf. In diesen Fällen sprechen wir von *Isotypie* (griech. isos = gleich, also gleicher Strukturtyp). Verändert hat sich dann nur die Größe der Elementarzelle, die ja von der Größe der Atome oder Ionen bzw. deren Wirkungsradius bestimmt wird. Beim Steinsalz NaCl beträgt die Kantenlänge des Elementarwürfels $a_0 = 5.64 \text{ \AA}$ und beim Bleiglanz PbS $a_0 = 5.94 \text{ \AA}$.

In welcher Weise sich die Atome und Ionen im Gitter anordnen, hängt außer von ihren Wirkungsradien noch von den „äußeren Bedingungen“ während der Kristallbildung ab. Von Bedeutung sind vor allem Temperatur und Druck. In ein und derselben chemischen Verbindung – oder auch ein und demselben chemischen Element – können die Atome verschieden angeordnet sein. Ein recht gutes Beispiel für diese Erscheinung bieten die Kohlenstoffatome. Gewöhnlich treten sie zu einem sechseckigen, wabenförmigen Verband zusammen und bilden mit dieser Struktur den Graphit (Abb. 9).

Bei sehr hohen Drucken und Temperaturen kommt es zu einem ganz anderen Bild: Jedes Kohlenstoffatom ist von vier Nachbaratomen umgeben, ihre Schwerpunkte bilden ein Tetraeder (Abb. 9). Im Gitter des seltenen und wertvollen Diamanten sind die Kohlenstoffatome in dieser Weise angeordnet. Die unterschiedliche Struktur des Kohlenstoffs ist auf die gänzlich anderen Druck-Temperatur-Bedingungen bei der Kristallisation zurückzuführen, und sie erklärt die wesentlich voneinander abweichenden

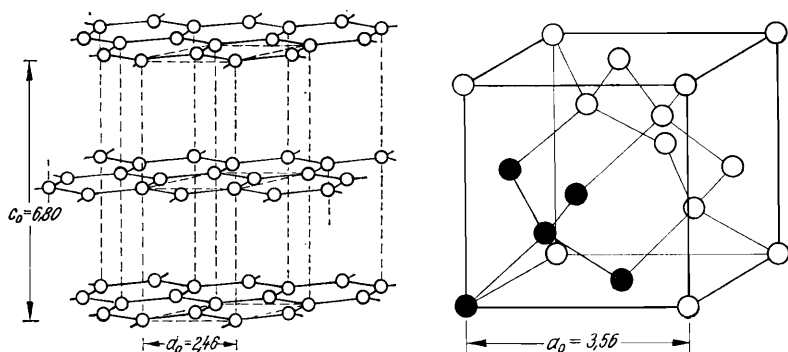


Abb. 9: Die Anordnung der Kohlenstoffatome im Graphitgitter (links) und im Diamantgitter (rechts). Im Diamantgitter ist die tetraedrische Anordnung (Koordinationszahl 4) um ein zentrales Kohlenstoffatom durch schwarze Punkte verdeutlicht

Eigenschaften der beiden Minerale. Nicht wenige Bestandteile der Erdkruste bauen zwei oder mehr räumliche Verbände auf. Wir sprechen in diesem Fall von *dimorphen* bzw. *polymorphen* Substanzen (griech. dis = zweimal, poly = viel, morphe = Gestalt). Die Substanz SiO_2 bildet zum Beispiel eine amorphe und 8 kristalline Formarten. Die verschiedenen Formen entstehen innerhalb bestimmter Temperatur-Druck-Bereiche, wie aus der Abbildung 10 ersichtlich ist. Zum Beispiel entsteht bei 500°C und einem Druck von 10 Kilobar β -Quarz als stabile Modifikation. Steigt bei gleichbleibender

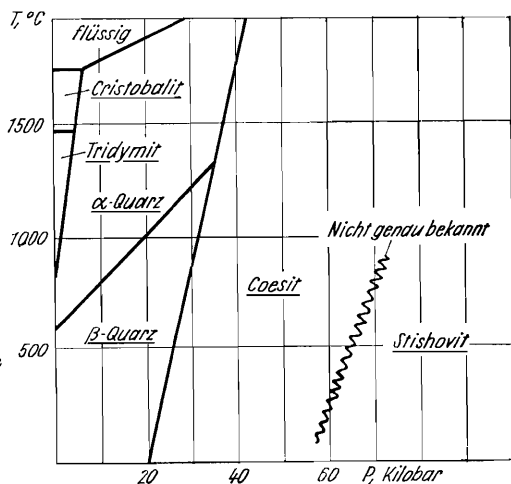


Abb. 10:
Die Stabilitätsbereiche
der Formarten
von SiO_2
(nach W.S. FYFE;
etwas vereinfacht)

Temperatur der Druck über 25 Kilobar an, dann bildet sich anstelle von β -Quarz Coesit. Wenn der bei Temperaturen über 573° entstandene „Hochquarz“ in den Bereich niedrigerer Temperatur gelangt, wird sofort „Tiefquarz“ daraus mit einer nur wenig abweichenden Atomanordnung. Aber nicht immer verändert sich beim Überschreiten von Stabilitätsgrenzen die Form des Gitters. Die Substanz liegt dann in einer metastabilen Form vor. Wäre das nicht möglich, dann könnten unter den normalen Druck-Temperatur-Bedingungen Stishovit und Coesit nicht auftreten, sondern sie müßten sich in β -Quarz verwandelt haben. Stishovit und Coesit wurden bei Laboratoriumsversuchen entdeckt. In der Erdrinde entstehen die beiden Stoffe nur unter extremen Druckbedingungen, wie sie in der Umgebung von Meteoriteneinschlägen kurzzeitig herrschen. In der Tat sind diese Minerale, zuerst Coesit in dem großen Meteoritenkrater in Arizona, gefunden worden. Die bei hohen Drucken entstandenen Minerale haben in der Regel eine dichtere Atompackung und damit größere Dichtewerte. Quarz hat die Dichte 2,654, Coesit 3,01 und Stishovit 4,28 g/cm³. Damit wollen wir die Ausführungen über den Feinbau der Kristalle abschließen und noch einmal darauf hinweisen, daß die Atomanordnung im Kristallgitter die Eigenschaften der Minerale weitgehend bestimmt, sei es nun die Flächenentwicklung, die Dichte und Härte oder das Verhalten gegenüber dem Licht usw.

Gestalt der Kristalle

Wenn sich der Feinbau der Minerale nur mit komplizierten physikalischen Instrumenten nachweisen läßt, so sind andererseits wichtige geometrische Gesetzmäßigkeiten aus den Körperformen der Kristalle erschließbar. Die richtige Bestimmung der Kristalle, wie sie uns in vielen Sammlungsstufen begegnen, setzt voraus, daß wir die kristallographischen Grundgesetze kennen. Diese Gesetze ergeben sich aus der Gitternatur der Materie, wenngleich sie bereits lange vor deren Nachweis erkannt wurden.

Gesetz der Winkelkonstanz

Beim Studium der Kristallformen von Quarz erkannte der dänische Arzt und Naturforscher Niels STENSEN (lat. Nicolaus Stenonius, 1638–1686), daß der Winkel zwischen analogen Flächen immer der gleiche ist, und zwar unabhängig davon, wie die Flächen ausgebildet sind. Man bezeichnet diese Tatsache als „Gesetz der Winkelkonstanz“. Das Gesetz ist deshalb besonders wichtig, weil nur wenige Kristalle in ihrer *idealen Gestalt* erscheinen, bei der alle gleichwertigen Flächen die gleiche Entfernung vom Mittelpunkt des Kristallkörpers haben. Gewöhnlich wächst der Kristall ungleichmäßig, und die einander entsprechenden Flächen bilden sich daher verschieden aus. Sie weichen nicht nur in der Größe, sondern oft auch in der Umgrenzung voneinander ab. Die meisten Mineralkörper sind „verzerrt“. Indem man gedanklich die Flächen parallel verschiebt, läßt sich die ideale Kristallgestalt

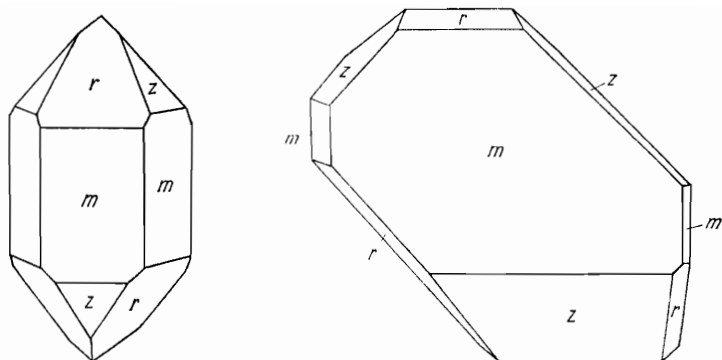


Abb. 11: Idealgestalt eines Quarzkristalls und verzerrte Ausbildung der gleichen Körperform (rechts)

theoretisch rekonstruieren. Der Grad der Verzerrung kann sehr unterschiedlich sein. Die Abbildung 11 zeigt die Idealgestalt eines Quarzkristalls und daneben einen Quarzkristall, dessen Form verzerrt ist. Gleichwertige Flächen sind mit den gleichen Buchstaben (m , r , z) versehen.

Entscheidend ist es nun, daß die Winkel zwischen einander entsprechenden Flächen bei ein und derselben Mineralart immer die gleiche Größe aufweisen, unabhängig von der Flächenentwicklung. Der Winkel zwischen den beiden Flächen m und r des Quarzes ist konstant, obgleich die Flächen, wie unser Beispiel zeigt, eine ganz verschiedene Größe und Umgrenzung haben können.

Die Flächenwinkel sind wichtige Mineralkonstanten und in entsprechenden Winkeltabellen zusammengefaßt. Sie ermöglichen es, Mineralarten zu identifizieren. Man mißt diese Winkel mit feinmechanisch-optischen Präzisionsinstrumenten, den sogenannten *Reflexionsgoniometern*. Mitunter genügt ein einfaches *Anlegegoniometer*, dessen Genauigkeit aber nur etwa 1° beträgt. Es läßt sich verwenden, wenn man die Flächenwinkel von Kristallen vergleichen will.

Man sollte sich darin üben, die natürlichen Kristallformen auf die jeweilige Idealgestalt zurückzuführen, d. h. auf die Gestalt, die bei ganz gleichmäßigem Wachstum entstanden wäre. Erst dann ist man in der Lage, die Kristallform als ein wichtiges Kennzeichen der Minerale bei deren Bestimmung heranzuziehen. Auch die Feststellung der Symmetrieeigenschaften, die ebenfalls dazu beiträgt, ein Mineral zu bestimmen, setzt die gedankliche „Entzerrung“ der Minerale voraus.

Das Gesetz der Winkelkonstanz wurde vorübergehend in Frage gestellt, als E. MITSCHERLICH (1819) behauptete, daß verschiedene chemische Verbindungen die gleiche Kristallgestalt aufweisen – eine Erscheinung, die man als *Isomorphie* (Gleichgestaltigkeit) bezeichnete. Genaue Untersuchungen ergaben jedoch, daß eine Gleichgestaltigkeit streng genommen nicht vorliegt. Die Flächenwinkel –

üblicherweise mißt man die Winkel zwischen den auf den Flächen errichteten Loten (Flächennormalen) – unterscheiden sich allerdings bei den Mineralen einer isomorphen Reihe nur geringfügig. Die Unterschiede sind oft so klein, daß sie nur durch Kristallvermessung mit einem Reflexionsgoniometer erkannt werden.

Minerale einer isomorphen Reihe

Mineral	chemische Formel	Flächennormalenwinkel zwischen den Rhomboederflächen
Kalkspat	CaCO_3	101° 55'
Eisenspat	FeCO_3	103° 05'
Zinkspat	ZnCO_3	103° 30'
Manganspat	MnCO_3	102° 50'
Natronsalpeter	NaNO_3	102° 40'

Ähnliche Gestalt haben vor allem Minerale, die chemisch ähnlich zusammengesetzt sind, wie die Tabelle 2 zeigt: Die hier angeführten Karbonate kristallisieren in der Gestalt von Rhomboedern. Der Winkelunterschied der Rhomboeder ist zu gering, als daß man ihn mit bloßem Auge erfassen könnte. Jedes Karbonat hat seinen typischen Winkel. Aber auch Natronsalpeter kristallisiert in Rhomboederform und gehört somit trotz anderer Zusammensetzung zur gleichen isomorphen Reihe. Seine Gestalt weicht nur ganz minimal von der des Manganspats ab; das kommt in dem geringen Unterschied der Winkel zwischen den Senkrechten, die man auf den Rhomboederflächen errichtet, zum Ausdruck. Das Gesetz der Winkelkonstanz gilt nach wie vor.

Rationalitätsgesetz und Flächenbezeichnung

Beim Kristallisieren eines Stoffes bildet sich zuerst ein Kristallkeim, an dem sich die Bauteilchen in gesetzmäßiger Weise anlagern. Das Mineral wächst dabei in nichtparallelen Richtungen unterschiedlich schnell und ist bestrebt, nur solche Flächen auszubilden, die möglichst dicht mit Atomen bzw. Ionen besetzt sind. Aus diesem Grund ist die Zahl der an einem Mineral vorhandenen Flächen meist gering, wobei wir noch berücksichtigen müssen, daß Flächen mit gleichartiger Belegung zu einer einzigen Flächenform gehören. Den Vorgang des Kristallwachstums können wir beobachten, wenn wir eine konzentrierte Kochsalzlösung über längere Zeit stehen lassen. Es bilden sich Steinsalzwürfel, die mit der Zeit größer werden. Die Kristalle müssen in Richtung der Ecken und Kanten schneller gewachsen sein als in Richtung der Flächen. Andernfalls, bei völlig gleichmäßiger Stoffanlagerung, hätten wir als Wachstumskörper eine Kugel erhalten. Diese Gestalt ist mit der Anisotropie der Kristalle nicht vereinbar. In allen Würfelflächen der Steinsalzkristalle herrscht die gleiche Ionenanordnung (s. Abb. 8). Die sechs Würfelflächen gehören demnach zu einer einzigen Form. Nicht selten sind

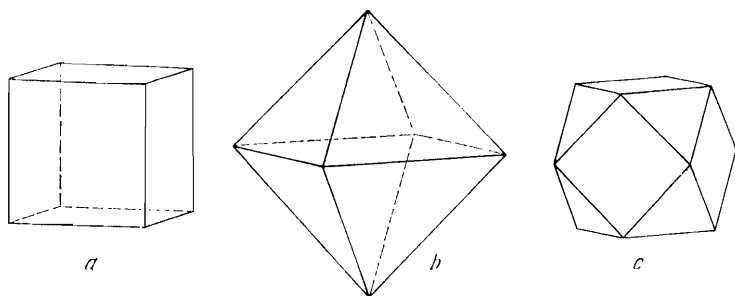


Abb. 12: Einfache Formen und Kombination. a = Würfel, b = Oktaeder, c = Kombination von Würfel und Oktaeder

an ein und demselben Mineral mehrere „einfache“ Formen ausgebildet. So beobachten wir zum Beispiel das gleichzeitige Auftreten von Würfel- und Oktaederflächen (Abb. 12). Wir sprechen dann von einer Kombination, bei der diese oder jene Form vorherrschen kann.

Berücksichtigen wir, daß an manchen Mineralkörpern mehrere Formen kombiniert sind, diese Formen darüber hinaus durch Wachstumsbehinderung in unterschiedlichem Maße verzerrt sein können, dann erklären sich daraus manche Schwierigkeiten, die bei der Mineralbestimmung nach der äußeren Form auftreten. Auf der anderen Seite ist es möglich, anhand der Formen in Verbindung mit der Feststellung der Symmetrieeigenschaften eine Ordnung in die Vielfalt der Kristallkörper zu bringen. Deshalb müssen wir uns mit der Kristallgeometrie befassen.

Wie läßt sich eine Kristallfläche einer bestimmten Form, die ja unterschiedlich entwickelt sein kann, am besten „festlegen“? Das geschieht sehr einfach, indem wir ermitteln, in welcher Entfernung diese Fläche die einzelnen Arme eines Achsenkreuzes schneidet (Abb. 13), wobei wir die nach vorn, d. h. zum Betrachter weisende Achse als a -Achse, die nach rechts gerichtete als b -Achse und die nach oben sich erstreckende als c -Achse bezeichnen. Die Strecken auf den Achsen vom Mittelpunkt des Achsenkreuzes bis zum Schnittpunkt durch die Fläche nennen wir Achsenabschnitte oder Parameter. Nun interessiert uns aber nur die Lage der Fläche im Raum, d. h. in bezug auf das Achsenkreuz, nicht aber ihre größere oder kleinere Entfernung vom Mittelpunkt des Kreuzes. Daher ist für die Kristallkunde nicht die Länge der einzelnen Streckenabschnitte an sich von Bedeutung, sondern lediglich, in welchem Zahlenverhältnis diese Abschnitte zueinander stehen. Das im allgemeinen irrationale Verhältnis ändert sich nicht, wenn wir die drei Zahlen mit einem beliebigen Faktor multiplizieren oder durch irgendeine Zahl teilen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, die drei Werte durch den Wert des Parameters auf der b -Achse zu teilen. Der Abschnitt auf der b -Achse wird also gleich 1 gesetzt. Durch diesen kleinen Kniff erhalten wir die gleichen Zahlenwerte für alle Flächen *gleicher Raumlage*, die verschiedene Größe

und Umgrenzung aufweisen und das Achsenkreuz in unterschiedlicher Entfernung schneiden können.

Beispiel:

Das Achsenabschnittsverhältnis einer Fläche, die die a -Achse in 1,2374 cm, die b -Achse in 1,6843 cm und die c -Achse in 2,7331 cm Abstand schneidet, errechnet sich wie folgt:

$$a:b:c = \frac{1,2347}{1,6843} : \frac{1,6843}{1,6843} : \frac{2,7331}{1,6843} = 0,7331 : 1 : 1,6227.$$

Das Achsenabschnitts- oder Parameterverhältnis ist eine wichtige kristallographische Konstante. Jedes Mineral hat sein bestimmtes Parameterverhältnis.

Die Flächenform, die der Bestimmung des Verhältnisses zugrunde liegt, nennen wir die *Grundform*. Außer dieser Grundform können auch andere Flächen ausgebildet sein. Die Lage dieser Flächen zur Grundform ist nicht beliebig, sondern es besteht eine durch den Feinbau der Kristalle vorgezeichnete Gesetzmäßigkeit:

Alle übrigen an einem Kristall ausgebildeten Flächen lassen sich darstellen durch das Verhältnis

$$ma : nb : pc,$$

wobei die Größen m , n und p ganze, meist einfache Zahlen oder rationale Brüche sind.

Die Größen m , n und p nennen wir Parameterkoeffizienten, und da sie im Verhältnis rationaler Zahlen zueinander stehen, sprechen wir vom Gesetz der rationalen Achsenabschnittsverhältnisse oder kurz „*Rationalitätsgesetz*“. Wir verdeutlichen uns diese Gesetzmäßigkeit anhand der Abbildung 13. Aus den einzelnen Streckenabschnitten, welche die Fläche im linken Bild schneidet, ergibt sich deren Achsen- oder Parameterverhältnis. Im rechten Bild haben wir neben der Grundform eine zweite Fläche mit einer anderen Raumlage, die wir durch Parallelverschiebung so orientiert haben, daß sie die Achse b in der gleichen Entfernung wie die Grundform schneidet. Sie trifft dann die beiden anderen Achsen in der dreifachen bzw. doppelten Entfernung.

Die beiden Verhältnisse lauten:

für die Fläche der Grundform $a:b:c$ und

für die andere Fläche $3a:b:2c$.

Das Rationalitätsgesetz ermöglicht es uns, die an einem Mineral entwickelten Flächen durch die Angabe ihrer Parameterkoeffizienten zu charakterisieren. In unserem Fall erhält die Grundform die Bezeichnung 1:1:1 und die zweite Fläche das Symbol 3:1:2. Für die Grundform lauten ja die Koeffizienten $m = n = p = 1$. Wenn eine Fläche eine oder zwei Achsen nicht schneidet, sondern parallel dazu verläuft, schreiben wir dafür das Symbol ∞ (d.h. unendlich). Die Vorderfläche eines Würfels, die

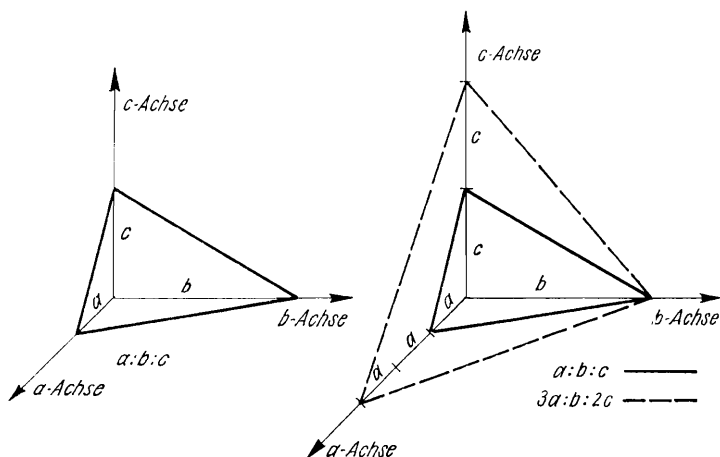


Abb. 13: Das Achsenabschnittsverhältnis und das Rationalitätsgesetz (rechts)

nur die a -Achse schneidet, während sie zur b - und c -Achse parallel verläuft, erhält demnach das Symbol $1 : \infty : \infty$.

Da es etwas umständlich ist, Kristallflächen in solcher Weise zu bezeichnen, wird in der Praxis ein anderer Weg eingeschlagen. Man bildet die reziproken Werte der soeben abgeleiteten Symbole und drückt deren Verhältnis zueinander in ganzen Zahlen aus. Diese Zahlen – in Klammern gesetzt und ohne das Verhältnisszeichen geschrieben – heißen nach einem englischen Mineralogen, der sie in seinen Schriften verbreitete, *MILLERSche Indizes*. Mit ihrer Hilfe läßt sich jede Kristallfläche in sehr einfacher Weise kennzeichnen. Für unsere beiden Flächen erhalten wir zum Beispiel:

für die Fläche der Grundform

$$a : b : c = \frac{1}{1} : \frac{1}{1} : \frac{1}{1} = (111)$$

und für die zweite Fläche

$$3a : b : 2c = \frac{1}{3} : \frac{1}{1} : \frac{1}{2} = \frac{2}{6} : \frac{6}{6} : \frac{3}{6} = 2 : 6 : 3 = (263).$$

Damit haben wir das „Geheimnis“ der Kristallflächenbezeichnung kennengelernt. Die MILLERSchen Indizes werden natürlich erst richtig verstanden, wenn man sich darin übt, diese Indizes für ganz bestimmte Flächenlagen abzuleiten.

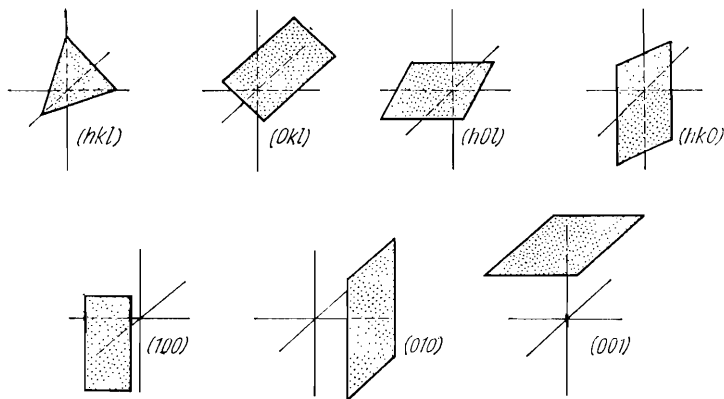


Abb. 14: Die Raumlage einiger wichtiger Kristallflächen und ihre MILLERSchen Indizes

Die allgemeine Ableitung der MILLERSchen Indizes läßt sich folgendermaßen formulieren:

Aus dem Parameterverhältnis $ma : nb : pc$ bilden wir das Verhältnis der reziproken Werte der Koeffizienten m , n und p , also

$$\frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p}$$

und bringen dieses Verhältnis auf ganze, teilerfremde Zahlen. Diese Zahlen, in runde Klammern gesetzt, sind die MILLERSchen Indizes, deren allgemeines Symbol (hkl) lautet. Flächen, die einer oder mehreren Achsen parallel laufen, erhalten in bezug auf diese Achsen den Wert $1/\infty = 0$. Für die vordere Würfel- fläche lautet das Symbol somit (100) , für eine Seitenfläche (010) und für die obere Würfel- fläche (001) . Die Fläche des Oktaeders hat das Symbol (111) . Eine Fläche allgemeiner Lage, die die nach vorn weisende Achse und die nach oben verlaufende Achse schneidet und der Querachse (b -Achse) parallel läuft, bekommt das Symbol $(h0l)$. Durch die Abbildung 14 wird uns die Raumlage einiger wichtiger Flächen und ihre Bezeichnung vorgeführt.

Werden die Achsen in negativer Richtung (hinten, links, unten) geschnitten, so setzen wir über die entsprechende Ziffer ein Minuszeichen. Eine Fläche, die die a -Achse hinter dem Koordinatenschnittpunkt im Abstand 1 schneidet und den beiden anderen Achsen parallel läuft, erhält die Indizes $(\bar{1}00)$. Schließlich werden alle Flächen, die zu einer Form gehören, in geschweifte Klammern gesetzt, wenn die Gesamtform gekennzeichnet werden soll. Der Würfel bekommt das Symbol $\{100\}$, das Oktaeder $\{111\}$ usw. Jede einfache Form läßt sich also durch wenige Zahlen beschreiben.

Kristallsysteme und Achsenkreuze

Während in der Raumlehre meist ein rechtwinkliges Achsenkreuz benutzt wird, ist es für die Gruppierung der Kristalle sinnvoller, die Lage der Achsen dem Körper anzupassen. Deshalb orientiert man die Achsen so, daß sie den am Kristall vorhandenen (oder möglichen) Kantenrichtungen entsprechen. Alle Körperformen, die sich auf das gleiche Achsenkreuz beziehen lassen, gehören dem gleichen *Kristallsystem* an. Es gibt insgesamt sieben solcher Kristallsysteme, und für jedes sind ganz bestimmte Formen und Formkombinationen typisch. Durch einige Übung lernt man bald, gut ausgebildete Minerale ihrem Kristallsystem zuzuordnen. Da auf diese Weise die praktische Bestimmung wesentlich erleichtert wird, wollen wir die Kristallsysteme besprechen.

Die Kristallsysteme erhielten folgende Namen:

Name	Erklärung
Kubisches System	von lat. cubus = Würfel
Tetragonales System	von griech. tetra = vier; die Kristallquerschnitte der meisten Kristalle sind regelmäßige Vierecke = Quadrate
Hexagonales System	von griech. hex = sechs; als Kristallquerschnitte sind oft regelmäßige Sechsecke anzutreffen
Trigonales System	von griech. treis, tria = drei; hier kommen als Querschnitte häufig gleichseitige Dreiecke vor
Rhombisches System	von griech. rhombos = Rhombus; die Querschnitte sind meist Rhomben
Monoklines System	von griech. monos = einer, einzig und klino = ich neige; eine Kristallachse ist geneigt
Triklines System	von griech. treis, tria = drei, klino = ich neige; alle drei Achsen sind gegeneinander geneigt

Die Minerale des hexagonalen und des trigonalen Systems lassen sich auf ein Achsenkreuz beziehen. In der Praxis kommen wir deshalb mit folgenden Kreuzen aus:

Kubisches System:

Dazu gehören alle Kristalle, die ein Achsenkreuz mit drei gleichwertigen, senkrecht aufeinanderstehenden Achsen haben. Die Achsen sind a_1 , a_2

und a_3 . Die Winkel zwischen den Achsenrichtungen $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (s. S. 54/55). Kurzbezeichnung: $a_1 = a_2 = a_3$ und $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Tetragonales System:

In die Kristalle dieses Systems kann man ein Kreuz mit drei rechtwinklig aufeinanderstehenden Achsen legen, von denen zwei gleichwertig sind.

Kurzbezeichnung: $a_1 = a_2 \neq c$ ($\neq$ bedeutet „nicht gleich“) und

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Hexagonales und trigonales System:

Hier verwenden wir ein *vierachsiges* Kreuz. Drei gleichwertige Achsen liegen in einer Ebene und bilden Winkel von 60° bzw. 120° . Die vierte Achse steht senkrecht auf dieser Ebene und ist im Vergleich zu den drei anderen länger oder kürzer.

Kurzbezeichnung: $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ und $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 60^\circ$, $\beta = 90^\circ$

Rhombisches System:

Darin sind Kristalle vereinigt, denen ein Kreuz mit drei verschiedenen, senkrecht aufeinanderstehenden Achsen entspricht.

Kurzbezeichnung: $a \neq b \neq c$ und $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Monoklines System:

Das Achsenkreuz dieser Gruppe von Kristallen weist drei verschiedenwertige Achsen auf, von denen die nach vorn weisende mit der vertikalen Achse einen schiefen Winkel bildet.

Kurzbezeichnung: $a \neq b \neq c$ und $\alpha = \gamma = 90^\circ$; $\beta > 90^\circ$

Triklines System:

In triklone Kristalle läßt sich ein Kreuz mit drei verschiedenwertigen Achsen legen, die sich alle unter einem schiefen Winkel schneiden.

Kurzbezeichnung: $a \neq b \neq c$ und $\alpha \neq \beta \neq \gamma \gtrsim 90^\circ$

Es würde hier zu weit führen, alle in einem System möglichen Formen und Kombinationen zu besprechen. Wer sich damit intensiver befassen möchte, dem sind die Lehrbücher der Kristallographie zu empfehlen. Die kristallographische Formenlehre bedient sich vieler Bezeichnungen, die dem Liebhaber schwer verständlich sind und ihn aus diesem Grunde leicht verwirren. Eine auch dem Laien verständliche Einführung schrieb Prof. Dr. Robert L. PARKER: *Mineralienkunde* (Ott Verlag Thun/München, 1959). Eine sehr gute Übersicht über die Kristallsysteme und deren Untergliederung in Kristallklassen wird auch durch eine Zusammenstellung von Tafeln vermittelt, die von der Abteilung Fernstudium der Bergakademie Freiberg herausgebracht wurde und im Buchhandel erhältlich ist: *Die 32 Kristallklassen* (M 2,00).

Wenn an einem Mineralfund ebenflächig begrenzte Körper zu erkennen sind, sollte versucht werden, ein zu diesem Körper passendes Achsenkreuz

zu finden. Die kristallographischen Achsenkreuze und einige Formen, die ihnen zuzuordnen sind, haben wir auf den Seiten 54/55 dargestellt.

Symmetrieeigenschaften der Kristalle

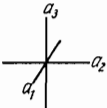
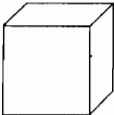
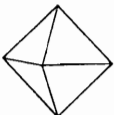
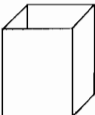
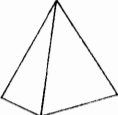
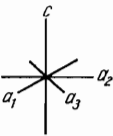
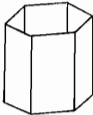
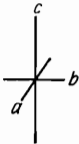
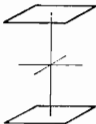
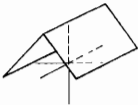
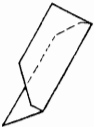
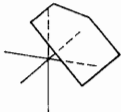
Ungestört gewachsene, ideal ausgebildete Kristalle zeichnen sich dadurch aus, daß man bestimmte geometrische Elemente, wie Ecken, Kanten oder Flächen, durch Spiegelung an einer gedachten Ebene oder durch Drehung um eine ebensolche Achse zur Deckung bringen kann. Die Ebenen bzw. Achsen, die eine bestimmte Lage im Kristall einnehmen, nennen wir *Symmetrieelemente*. An einem Körper können aber nicht beliebige Symmetrieelemente auftreten, sondern nur ganz bestimmte Elemente sind miteinander vereinbar. Durch Kombination der bei Kristallen möglichen Symmetrieelemente lassen sich 32 *Kristallklassen* ableiten. Das ergibt eine Untergliederung der sieben Kristallsysteme. Wenn sich die an einem Kristall vorhandenen Symmetrieelemente genau bestimmen lassen, dann kann man die Kristallklasse, zu der ein Mineral gehört, ermitteln. Leider stößt jedoch die Bestimmung der Symmetrieelemente bei den natürlich gewachsenen – meist mehr oder weniger verzerrten – Kristallen auf große Schwierigkeiten. Aber bereits wenn man dies oder jenes Element auffindet, erleichtert das die Mineralbestimmung. Oft gelingt es dann, das Mineral, wenn auch noch nicht seiner Kristallklasse, so doch wenigstens seinem Kristallsystem zuzuordnen.

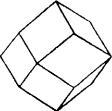
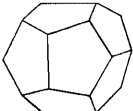
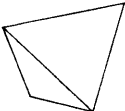
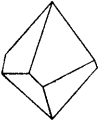
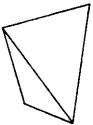
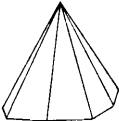
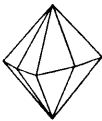
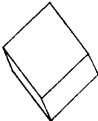
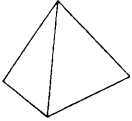
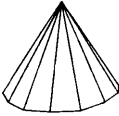
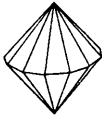
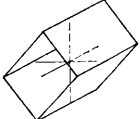
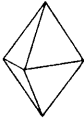
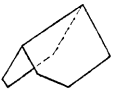
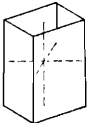
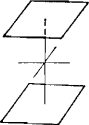
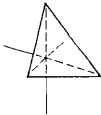
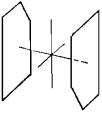
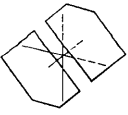
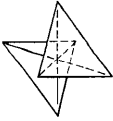
Erläuterung zur Tafel S. 54/55

Die kristallographischen Achsenkreuze und einige Formenbeispiele

Zu einem Kristallsystem gehören alle Formen, die sich dem gleichen Achsenkreuz zuordnen lassen. Von den insgesamt 48 möglichen einfachen Kristallformen sind 36 abgebildet worden. Wir können unterscheiden zwischen:

geschlossenen Formen, wie Würfel, Oktaeder, Rhombendodekaeder, die *allein* oder in Kombination mit anderen Formen auftreten, und *offenen Formen*, wie Prismen, Pyramiden, Pedien usw., die in jedem Fall mit anderen Formen kombiniert sind. Im kubischen System gibt es nur geschlossene Formen, im monoklinen und im triklinen System nur (im Kristall miteinander kombinierte) offene. In den übrigen Kristallsystemen kommen beide Formen, sowohl geschlossene als auch offene, vor. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß viele Formen veränderlich sind. Eine Pyramide kann sehr flach, aber auch sehr steil sein. Das gleiche gilt für Rhomboeder, Prismen u. v. a.

<i>kubisch</i> 	 <i>Würfel</i>	 <i>Oktaeder</i>
<i>tetragonal</i> 	 <i>Tetragonales Prisma</i>	 <i>Tetragonale Pyramide</i>
<i>hexagonal und trigonal</i> 	 <i>Hexagonales Prisma</i>	 <i>Hexagonale Pyramide</i>
<i>rhombisch</i> 	 <i>Basispinakoid</i>	 <i>Doma</i>
<i>monoklin</i> 	 <i>seitliches Pedion</i>	 <i>Sphenoid</i>
<i>triklin</i> 	 <i>Basispedion</i>	 <i>Pedion</i>

			
<i>Rhombendodekaeder</i>	<i>Pentagondodekaeder</i>	<i>Tetraeder</i>	<i>Hexakisoktaeder</i>
			
<i>Tetragonales Trapezoeder</i>	<i>Tetragonales Disphenoid</i>	<i>Ditetragonale Pyramide</i>	<i>Ditetragonale Bipyramide</i>
			
<i>Rhomboeder</i>	<i>Trigonale Pyramide</i>	<i>Dihexagonale Pyramide</i>	<i>Dihexagonale Bipyramide</i>
			
<i>Prisma</i>	<i>Rhombisches Disphenoid</i>	<i>Rhombische Pyramide</i>	<i>Rhombische Bipyramide</i>
			
<i>Doma</i>	<i>Prisma</i>	<i>Basispinakoid</i>	<i>Prisma</i>
			
<i>Pedion</i>	<i>Pinakoid</i>	<i>Pinakoid</i>	<i>Pinakoid</i>

An Symmetrieelementen, die ohne weiteres wahrnehmbar sind, können wir unterscheiden:

a) Zentrum, b) Spiegelebenen, c) Drehungsachsen und d) Drehspiegelachsen.

Von einem *Zentrum* sprechen wir, wenn jede Fläche eines Kristalls eine parallele und kongruente Gegenfläche aufweist. Gleichmaßen gilt das für alle Kanten und Ecken, ja für jeden Flächenpunkt eines Kristalls. Das Symmetriezentrum entspricht dem Kristallmittelpunkt. Von diesem Punkt aus sind gleichwertige Flächen, Kanten, Ecken usw. in Richtung und Gegenrichtung gleich weit entfernt. Wenn wir zum Beispiel einen Würfel betrachten, können wir uns das leicht veranschaulichen. Zu jeder Würfelfläche gehört eine Gegenfläche, zu jeder Kante eine Gegenkante und zu jeder Ecke eine Gegenecke.

Eine *Spiegelebene* teilt einen Kristall in zwei gleiche, spiegelbildlich einander gegenüberliegende Hälften.

Bewegt man den Kristall um eine *Drehungsachse*, kommt es nach bestimmten Winkelbeträgen zur Deckung mit der Ausgangslage. Die Winkel, um die gedreht werden muß, betragen 180° , 120° , 90° und 60° , und es gibt demzufolge zwei-, drei-, vier- und sechszählige Achsen.

Bei den *Drehspiegelachsen* vereinen sich Drehung und Spiegelung. Im Gegensatz zu den einfachen Symmetrieelementen, den Spiegelebenen und Drehungsachsen, sind bei der Drehspiegelachse zwei Elemente miteinander gekoppelt. Dem Anfänger ist das schwer vorstellbar: Erst wenn der Kristall gedreht und außerdem an einer senkrecht zur Drehachse gedachten Symmetrieebene gespiegelt wird, erscheint z. B. zu einer Fläche ein Gegenstück. Folgendes Experiment soll uns die Wirkungsweise einer Drehspiegelachse verstehen lassen. Wir durchstechen einen aus Papier gefalteten und geklebten Würfel mit einer geraden Stricknadel an zwei einander gegenüberliegenden Eckpunkten und betrachten ihn von oben, d. h. von der Nadelspitze aus. Dabei sehen wir drei Würfelflächen, die durch Drehung der Nadel um jeweils 120° zur Deckung gebracht werden können. Demnach ist die durch zwei gegenüberliegende Eckpunkte eines Würfels verlaufende Achse eine dreizählige Drehungsachse. Betrachten wir nun den durchbohrten Würfel von der Seite her und stellen wir uns eine senkrecht zur Drehungsachse (Stricknadel) durch den Würfel verlaufende Spiegelebene vor, dann kommt bereits nach einer Drehung von 60° das spiegelbildliche Gegenstück zu einer oberen Fläche in Gestalt einer unteren Fläche zum Vorschein. Die dreizählige Drehungsachse erweist sich somit gleichzeitig als eine sechszählige Drehspiegelachse.

Es gibt sechs- und vierzählige Drehspiegelachsen, die immer gemeinsam mit einer drei- bzw. zweizähligen Drehungsachse auftreten. Beobachten wir an einem Kristall dreizählige oder zweizählige Drehungsachsen, dann müssen wir fragen, ob gleichzeitig eine Spiegelung an einer Ebene, die senkrecht zu diesen Achsen verläuft, nach dem jeweils halben Winkelbetrag möglich ist. Die Wirkungsweise von Drehspiegelachsen läßt sich noch besser verständ-

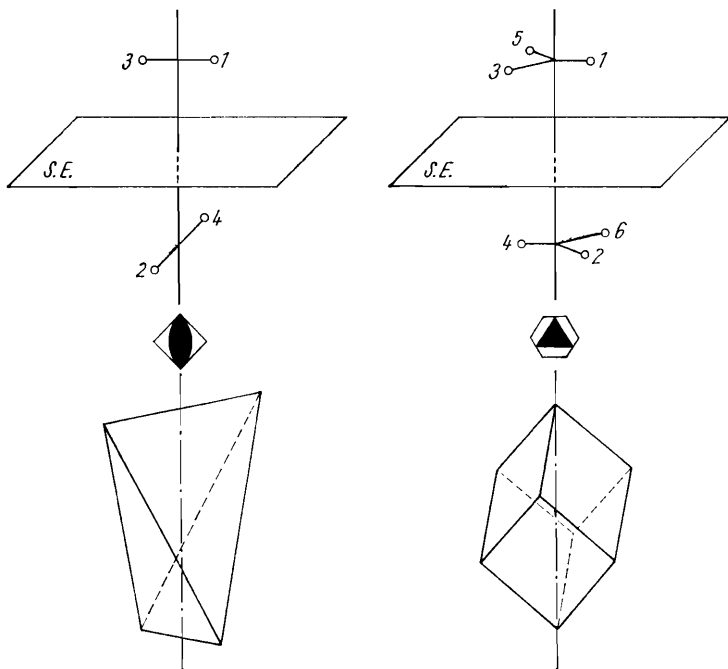


Abb. 15: Die Wirkungsweise einer vierzähligen (links) und einer sechszähligen (rechts) Drehspiegelachse

lich machen, wenn wir nicht den Kristall, sondern eine Punktfigur betrachten (Abb. 15). In die beiden Skizzen ist die senkrecht zur Drehungsachse gedachte Symmetrieebene eingezeichnet. Stellen wir uns einmal vor, wir drehen die oberhalb dieser Ebene liegende Punktfigur um 90° bzw. um 60° , dann liegen die Punkte symmetrisch zu denen der unterhalb der Ebene in der ursprünglichen Lage verbliebenen Figur.

Schließlich sei erwähnt, daß sich das Symmetriezentrum auch als eine zweizählige Drehspiegelachse auffassen läßt, das heißt als eine Drehung um 180° und gleichzeitige Spiegelung (Abb. 16).

Abbildung 16 zeigt die Wirkungsweise der besprochenen Symmetrieelemente und ihre Symbole.

Wenn wir die uns bekannten geometrischen Körper einmal im Hinblick auf ihre Symmetrie untersuchen, werden wir über das Ergebnis erstaunt sein.

Spiegelebene

Drehungsachsen

Drehspiegelachsen

2-, 3-, 4-, 6-zählig

2-, 4-, 6-zählig

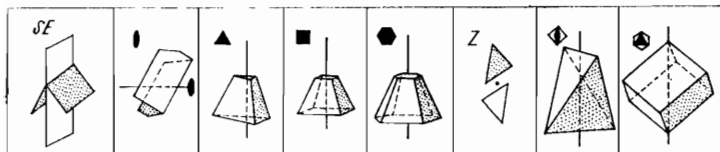


Abb. 16: Die Symmetrieelemente mit den dazugehörigen Symbolen

An einem Würfel können wir folgende Symmetrieelemente „entdecken“:

3 vierzählige Drehungsachsen, die gegenüberliegende Flächenmitten durchstechen;

6 zweizählige Drehungsachsen, die jeweils zwei gegenüberliegende Kantenmitten verbinden;

4 sechszählige Drehspiegelachsen, die gleichzeitig einfachen dreizähligen Drehungsachsen entsprechen und die jeweils zwei Würfecken als Raumdiagonale verbinden;

3 Hauptspiegelebenen;

6 Nebenspiegelebenen und schließlich ein **Symmetriezentrum**.

Das ist die größte Zahl der an einem Mineral möglichen Symmetrieelemente. Alle Minerale, welche die gleiche Symmetrie haben, gehören zur gleichen Kristallklasse. Die Lage der soeben genannten Elemente im Würfel wird durch Abbildung 17 veranschaulicht.

Auf Hauptspiegelebenen stehen mindestens zwei gleichwertige Spiegelebenen senkrecht. Hauptdrehungsachsen sind die höherzähligen Achsen bei Mineralen mit mehreren verschiedenzähligen Drehungsachsen. Ferner heißen Drehungsachsen *polar*, wenn Richtung und Gegenrichtung nicht

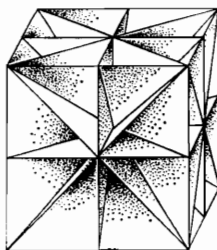
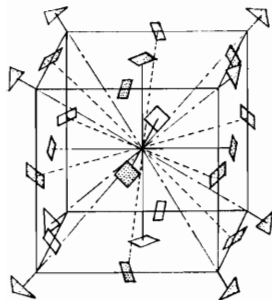
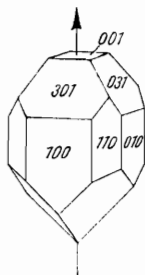


Abb. 17:
Die Symmetrieelemente eines Würfels. Drehungs- und Drehspiegelachsen (links), Hauptspiegelebenen und Nebenspiegelebenen (rechts)

Abb. 18: Kieselzinkerz = Hemimorphit $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2/\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$ mit polarer senkrechter Achse



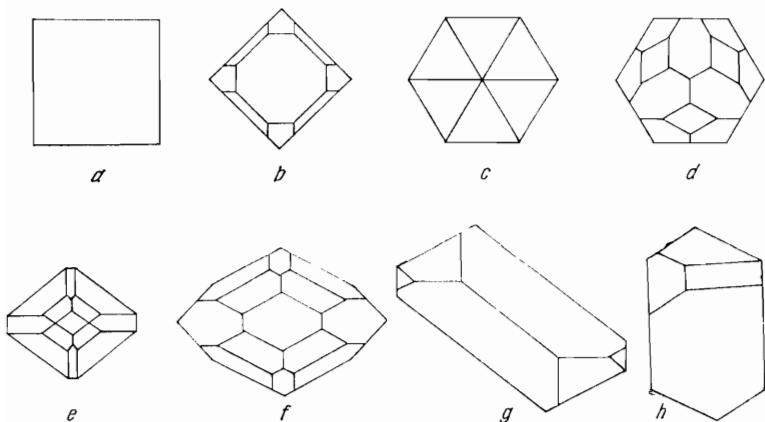
vertauschbar sind, d. h. wenn an den entgegengesetzten Ausstichpunkten der Drehungsachse eine unterschiedliche Flächenentwicklung vorliegt (Abb. 18). Kristalle mit polaren Achsen zeichnen sich durch bestimmte physikalische Eigenschaften aus.

Diese Kristalle haben kein Symmetriezentrum und natürlich auch keine Spiegelebene senkrecht zur polaren Achse.

Die Symmetrieelemente der Kristalle sind nur zu erfassen, wenn man sich darin übt, Symmetrien zu erkennen. Da die meisten Kristalle im Gestein eingewachsen sind, bekommen wir gewöhnlich die „Kopfbilder“ zu sehen. Die Abbildung 19 enthält mehrere Kristallansichten, und wir können versuchen, die Spiegelebenen und Drehungsachsen herauszufinden.

Bei der praktischen Mineralbestimmung berücksichtigen wir die Symmetrieelemente, um ein Mineral eindeutig und besser als allein durch die Achsen-

Abb. 19: Einige Kopfbilder von Kristallen zur Bestimmung der Spiegelebenen und Drehungsachsen



Kristallsystem	Symmetrieklasse Name nach GROTH	Symmetrieelemente		
		S.- Zentrum	S.- Ebenen	S.- Achsen
kubisch $a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Hexakisoktaedrisch Pentagon- ikositetraedrisch Hexakistetraedrisch Disdodekaedrisch Tetraedrisch- pentagon- dodekaedrisch	+ + 	3 + 6 6 3	              
hexagonal $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\beta = 90^\circ$ $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 60^\circ$	Dihexagonal- bipyramidal Hexagonal- trapezoedrisch Dihexagonal- pyramidal Ditrigonal- bipyramidal Hexagonal- bipyramidal Hexagonal- pyramidal Trigonal- bipyramidal	+ + 	1 + 6 6 1 + 3 1 1	              
trigonal, hexagonale Koordinaten stets anwendbar	Ditrigonal- skaloedrisch Trigonal- trapezoedrisch Ditrigonal-pyramidal Rhombodrisch Trigonal-pyramidal	+ + 	3 3	          

Die möglichen Kombinationen von Symmetrieelementen und die Namen der Symmetrieklassen

WORTERKLÄRUNGEN ZU DEN NAMEN DER SYMMETRIEKLASSEN

Jede Symmetrieklasse ist nach dem Körper mit der größten Flächenzahl der Klasse benannt. Die Bezeichnungen leiten sich aus griechischen Körper- und Flächenformenbezeichnungen und griechischen Zahlwörtern ab. Zum besseren Verständnis soll folgende Zusammenstellung dienen:

GRIECHISCHE ZAHLWÖRTER

dyo = zwei, tria = drei, tetra = vier, pente = fünf, hex = sechs, okto = acht, dodeka = zwölf, ikosi = zwanzig, kositeta = vierundzwanzig.

di(s) = zweimal, tris = dreimal, tetrakis = viermal, hexakis = sechsmal

Kristallsystem	Symmetrieklasse Name nach GROTH	Symmetrieelemente			
		S.- Zentrum	S.- Ebenen	S.- Achsen	
tetragonal	Ditetragonal- bipyramidal	+	1 + 4		
$a_1 = a_2 \neq a_3$	Tetragonal- trapezoedrisch				
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ditetragonal- pyramidal		4		
	Tetragonal- skalenoedrisch		2		
	Tetragonal- bipyramidal	+	1		
	Tetragonal-pyramidal				
	Tetragonal- bispheonoidisch				
rhombisch	Rhombisch- bipyramidal	+	3		
$a \neq b \neq c$	Rhombisch-bi- spheonoidisch				
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Rhombisch- pyramidal		2		
monoklin	Prismatisch	+	1		
$a \neq b \neq c$	Sphenoidisch				
$\alpha = \gamma = 90^\circ \beta > 90^\circ$	Domatisch		1		
triklin	Pinakoidal	+			
$a \neq b \neq c$	Pedial				
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \geq 90^\circ$					

+ = Zentrum vorhanden, p = polare Drehungsachse

KÖRPER- UND FLÄCHENBEZEICHNUNGEN

Ikositetraeder = Vierundzwanzigflächner, Dodekaeder = Zwölfblächner, Oktaeder = Achtflächner, Hexaeder = Sechsfächner (Würfel), Tetraeder = Vierflächner, Rhomboeder = von Rhombenflächen begrenzte Kristallform, Trapezoeder = von Trapezflächen begrenzte Kristallform, Skalenoeder = von ungleichseitigen Dreiecken begrenzte Kristallform (griech. *skalenos* = schief), Sphenoid = ein keilförmiges Flächenpaar (griech. *sphen* = Keil), Doma = ein dachförmiges Flächenpaar (griech. *doma* = Haus, Dach), Pinakoid = Fläche und parallele Gegenfläche (griech. *pinax* = Fläche), Pedion = eine Einzelfläche (ohne parallele Gegenfläche), (griech. *pedion* = Fläche, Ebene)

BEISPIELE

Hexakisoktaeder = Sechsmalachtflächner = 48-Flächner

Disdodekaeder = Zweimalzwölfblächner = 24-Flächner

Dihexagonale Bipyramide = zwei hexagonale Doppelpyramiden

kreuze einem der Kristallsysteme zuordnen zu können. Die Kristallklasse ohne eingehendere Untersuchungen und Messungen zu bestimmen, ist kaum möglich und setzt bereits Erfahrung voraus. Im Hinblick auf die Symmetrieelemente unterscheiden sich die Kristallsysteme folgendermaßen voneinander: Es gibt im

kubischen System mehrere Hauptspiegelebenen oder Hauptdrehungsachsen, *tetragonalen System* eine vierzählige Hauptdrehungsachse oder eine vierzählige Drehspiegelachse oder zwei gleiche Nebenspiegelebenen, *hexagonalen und trigonalen System* eine sechszählige Hauptdrehungsachse oder eine dreizählige Hauptdrehungsachse oder drei gleiche Nebenspiegelebenen,

rhombischen System mehrere senkrecht aufeinanderstehende ungleiche Nebenspiegelebenen oder Drehungsachsen,

monoklinen System eine zweizählige Drehungsachse oder eine Nebenspiegelebene und im

triklinen System keine Spiegelebene und keine Drehungsachse.

Die in diesen Systemen überhaupt möglichen Kombinationen von Symmetrieelementen und die Benennung der entsprechenden Klassen zeigt die Tabelle S. 60/61. Die Zusammenstellung soll es uns in erster Linie ermöglichen, das Kristallsystem, zu dem ein Körper gehört, festzustellen. Beobachten wir zum Beispiel an einem Kristall eine vierzählige Drehungsachse und eine dreizählige Drehungsachse, so entnehmen wir dieser Tabelle, daß es eine solche Kombination von Symmetrieelementen nur im kubischen System gibt.

Zur Ausbildung natürlicher Kristalle

Habitus

Die Gestalt der Kristalle weicht meist erheblich von der „Idealgestalt“ ab. Bei modellartigen Kristallen ist es nicht schwierig, die Symmetrieelemente und die Formen zu bestimmen. Die durch ungleichmäßige Stoffanlagerung entstandenen „Verzerrungen“ indessen verraten oft nur durch die Winkelbeziehungen ihre Zugehörigkeit zu einem bestimmten System.

Die Flächenentwicklung der Kristalle wird vom Druck und von der Temperatur während der Bildung und von Stoffen beeinflusst, die in der Lösung enthalten sind. Eine Mineralart kann bei gleichem Chemismus und Feinbau deshalb ganz verschiedene Gestalten aufweisen. Der Kalzit, dessen Zusammensetzung und Struktur wir kennengelernt haben, kommt in dünnen sechseitigen Tafeln, aber auch in langgestreckten, nadelförmigen Kristallen vor, um nur zwei der vielen Möglichkeiten zu nennen. In beiden Fällen hat er die gleiche Symmetrie und Struktur, die ihn einer bestimmten Kristallklasse und Raumgruppe zuordnen.

Neben den Bildungsbedingungen beeinflußt aber auch die Anordnung der Atome im Kristallgitter die Entwicklung der Formen. Es ist kein Zufall, daß die Minerale der Glimmergruppe, die einen netzartigen Atomverband haben, häufig blättchenförmig kristallisieren, während das kettenförmige Gitter der Hornblenden und Augite eine säulige oder faserige Ausbildung zur Folge hat.

Manche Minerale weisen immer wieder gleiche oder ähnliche Formen auf, andere wiederum sind sehr variabel. Man sollte die relative Flächenentwicklung oder den *Habitus* (lat. = Aussehen) bei der Mineralbestimmung als *ein* Merkmal berücksichtigen. Ungeachtet der Übergänge unterscheiden wir folgende Hauptausbildungsformen:

1. Das Mineral hat sich nach allen drei Raumrichtungen annähernd gleichmäßig entwickelt. Es ist würfelförmig, oktaederförmig usw., allgemein isometrisch.
2. Das Mineral ist bevorzugt nach zwei Raumrichtungen gewachsen und hat tafelförmige, blättchenförmige, blättrige oder schuppige Gestalt.
3. Das Mineral streckt sich nach einer Richtung und ist säulig, stengelig, nadelförmig, faserig oder haarförmig.

Die charakteristischen Ausbildungsformen werden bei der Beschreibung der Mineralarten angeführt. Einer näheren Erklärung bedürfen die Begriffe nicht, da sie allgemein verständlich sind (z.B. würfelig, tafelig, faserig). In der Abbildung 20 (S.69) haben wir die drei Hauptausbildungsformen einander gegenübergestellt.

Wachstumsstörungen

Gelegentlich stoßen wir auf skelett- oder trichterförmige Körper. Diese unvollständigen Formen entstehen dadurch, daß die Entwicklung der Kristalle bei schnellem Wachstum in einigen Richtungen vorseilt. Solche Skelettkristalle bildet auch der Schnee (Abb. 21, S. 69).

Manchmal umschließt der wachsende Kristall einen kleinen Anteil der Lösung, aus der er kristallisiert. Die Minerale haben dann Flüssigkeits-einschlüsse mit oder ohne Gasblasen. Besonders beim Steinsalz und Gips beobachten wir diese Einschlüsse. Die Kristalle enthalten sogenannte *Libellen*, wie wir im Vergleich zur Wasserwaage sagen. Auch völlig unregelmäßige, draht-, baum- oder astförmige Wachstumsformen kommen vor (Abb.22).

Ein gestörtes Kristallwachstum kann sich auch in Riefung oder *Streifung* mancher Flächen ausdrücken. Oft ist nur eine bestimmte Flächenform gestreift, während andere Flächen glatt sind. Wir erkennen daran, welche Flächen zu einer Form gehören. Die Streifung entsteht, wenn sich eine zweite Form durchsetzen möchte. Beim Pyrit können wir diese Erscheinung häufig beobachten. Dort bringt sich neben dem vorherrschenden Würfel das Pentagondodekaeder oder „Pyritoeder“ zur Geltung. Die Querstreifung auf manchen Prismenflächen des Quarzes wird durch ein abwechselndes

Wachstum von Prismen- und Rhomboederflächen verursacht. Ganz anderer Natur als diese *Kombinationsstreifung* ist die *Zwillingsstreifung*, die wir im nächsten Kapitel erwähnen.

Kristallverwachsungen

Viel häufiger als Einzelkristalle sind Kristallverwachsungen. Meist sind die Kristalle in zufälliger, unregelmäßiger Art und Weise verwachsen. Es gibt aber auch gesetzmäßige Verwachsungen, die unsere besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Um *orientierte Verwachsungen* handelt es sich, wenn Kristalle verschiedener Art so miteinander verwachsen sind, daß beide die gleiche Lage einnehmen. Das setzt annähernde Übereinstimmung der aufeinanderliegenden Gittermaschen voraus. Als Beispiel nennen wir die orientierte Aufwachsung von Albit auf den (110)-Flächen des Orthoklas (Abb. 23).

Bei der *Zwillingsverwachsung* sind Kristalle *derselben* Art symmetrisch verwachsen. Dadurch treten zusätzliche Symmetrieelemente, die Zwillings-ebene und die Zwillingsachse, auf. Ein bezeichnendes Merkmal vieler, aber nicht aller Zwillinge sind einspringende Winkel, die an einem einzelnen Kristall nie vorkommen. Manche Minerale können in mehr als einer Weise symmetrisch miteinander verwachsen. Die Verwachsungen werden nach dem charakteristischen Aussehen oder nach typischen Fundorten derartiger Mineralgruppen bezeichnet. Beim Orthoklas, einem Mineral der Feldspatgruppe, kennen wir zum Beispiel das Karlsbader, Manebacher und Bavenoer Gesetz.

Der Form nach trennen wir zwischen Berührungs- und Durchwachsungszwillingen (Abb. 24).

Die Form der Zwillinge erlaubt in zahlreichen Fällen die eindeutige Bestimmung eines Minerals. Aus diesem Grund haben wir typische Zwillingsverwachsungen im Bestimmungsteil abgebildet.

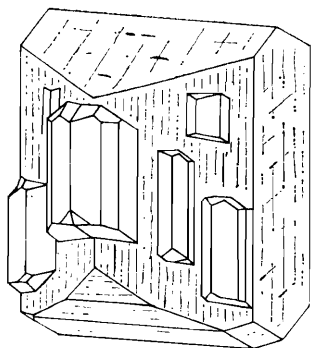


Abb. 23: Kleine durchsichtige Albitkristalle sind orientiert auf den Prismenflächen des Orthoklas aufgewachsen

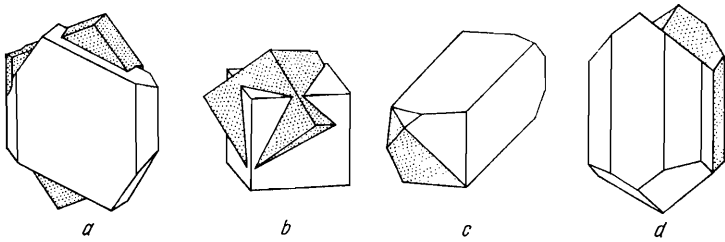


Abb. 24: Einige Zwillingungsverwachsungen von Kristallen

- a = Durchwachsungszwilling, Orthoklas (Karlsbader Gesetz)
- b = Durchwachsungszwilling, Fluorit
- c = Berührungszwilling, Orthoklas (Bavenoer Gesetz)
- d = Berührungszwilling, Augit

Wenn sich die Zwillingungsverwachsung mehrfach wiederholt, entstehen *Viel-linge*. Für manche Minerale ist eine lamellare (polysynthetische) Ver-
zwillingung, welche die Zwillingstreifung auf bestimmten Kristallflächen
hervorrufen, charakteristisch. Wir begegnen ihr nicht selten beim Kalzit und
beim Plagioklas, einem triklinen Feldspat.

Pseudomorphosen

Tritt ein Mineral in der Gestalt eines anderen auf, so sprechen wir von einer *Pseudomorphose* (griech. pseudo = falsch, morphe = Gestalt). Die Pseudo-
morphosen sind begehrte Sammlungsobjekte. Sie beweisen uns, daß unter
anderen physikalischen und chemischen Bedingungen als denen, welche zur
Zeit der Bildung eines Minerals herrschten, Stoffe umgelagert werden
können. Die ursprüngliche Substanz wird dabei von einer anderen ver-
drängt. Die neue Substanz nimmt jedoch nicht die ihr entsprechende Ge-
stalt an, sondern versteckt sich hinter der Form des umgewandelten Mine-
rals. Die Eigenschaften einer Pseudomorphose, wie Farbe, Härte und che-
mische Zusammensetzung, stehen im Widerspruch zur Kristallgestalt.

Der gelbe, metallisch glänzende und in Würfeln kristallisierende Pyrit wird
unter bestimmten Bedingungen zu Limonit, einem Eisenhydroxid, um-
gewandelt. Die Kristalle haben dann eine braune Farbe. Besonders auf-
fällig ist auch die Verdrängung des dunkelblauen Azurits durch den grünen
Malachit, wie sie an vielen Sammlungsstücken aus Tsumeb/Südwestafrika
zu beobachten ist. Manchmal ist es nicht zur vollständigen Stoffumwan-
dlung gekommen, so daß neben dem neuen Mineral Reste der ursprünglichen
Substanz vorhanden sind. Für die Abbildung 25 (S. 70) haben wir eine Rot-
eisenerzpseudomorphose nach Kalzit ausgewählt, bei der die nunmehr von
einem neuen Mineral ausgefüllten Kalzitformen sehr gut erkennbar sind.

Mineralaggregate

Verwachsungen von Mineralen nennen wir, ganz gleich ob die sich berührenden Kristalle zur gleichen Art oder zu verschiedenen Arten gehören, *Mineralaggregate* (lat. aggregare = anhäufen). Zeigen die Minerale der Verwachsungen gut ausgebildete Flächen, dann sprechen wir von *Stufen*. Vielfach bestehen solche Stufen aus mehreren Mineralarten, aus deren Verwachsung wir die Bildungsfolge ersehen können. Manchmal werden größere, voll ausgebildete Kristalle von kleineren Kristallen der gleichen Art überwachsen. In diesem Fall haben wir es mit zwei Generationen zu tun. Wir sollten immer darauf achten, welche Minerale zusammen vorkommen. Gerade aus dem gemeinsamen Auftreten ergeben sich wichtige Hinweise. Das soll an einem Beispiel erläutert werden.

Die beiden Minerale Molybdänglanz MoS_2 und Graphit C unterscheiden sich in ihren äußeren Eigenschaften nur wenig und können deshalb vom Anfänger leicht verwechselt werden. Beobachten wir nun in einem Mineralaggregat neben dem fraglichen Mineral Zinnstein oder Wolframit, dann liegt bestimmt Molybdänglanz vor, da dieses Mineral, nicht aber Graphit, gemeinsam mit Zinnstein oder Wolframit auftritt. Auf die Verknüpfung der Minerale hat besonders J. A. BREITHAUPT, der im vorigen Jahrhundert an der Bergakademie Freiberg wirkte, durch seine Veröffentlichung über „*Die Paragenesis der Minerale*“ (griech. para = neben, daneben und griech. genesis = Entstehen; die Minerale sind nebeneinander entstanden) das Augenmerk gelenkt.

Aus den Wänden von Gesteinsspalten und aus Gesteinshöhlräumen (Drusen) stammen die Stufen mit strahligen Kristallaggregaten. Die „strahlig“ angeordneten Bergkristalle aus den Kristallkellern der Alpen führten im Schweizer Volksmund zur Bezeichnung „Strahl“ für den Bergkristall. Die Mineralsucher heißen dort „Strahler“. Die meisten Mineralaggregate entstanden unter Bedingungen, denen zufolge sich die einzelnen Kristalle beim Wachstum gegenseitig behinderten. Für die kristalline Flächenausbildung war kein oder nicht genügend Raum vorhanden. Neben dichten, entweder amorphen oder kryptokristallinen (griech. kryptos = verborgen) Massen begegnen uns körnige Verwachsungen. Nach der mittleren Größe der Einzelkörner unterteilen wir die Mineralaggregate in:

- 0,1–0,3 mm = feinkörnige,
- 0,3–1,0 mm = feinkörnige,
- 1,0–3,0 mm = mittelkörnige,
- 3,0–10 mm = grobkörnige,
- 10,0–30 mm = grobkörnige,
- (größer als) > 30,0 mm = riesenkörnige.

Selbst bei Raummangel setzen viele Minerale bestimmte Wachstumsrichtungen durch. So erklärt es sich, daß außer körnigen auch blättrige, schuppige, stengelige, faserige, tafelige und nadelige Aggregate vorkommen. Bezeichnungen wie radialstrahlige, parallelfaserig, garben-, fächer-, stern- und

rosettenförmig bedürfen keiner Erklärung. Für manche Aggregatformen bürgerten sich in der Mineralogie spezielle Begriffe ein. Kompakte, radialstrahlige oder -faserige Gebilde mit rundlich-nieriger, glänzender Oberfläche heißen *Glaskopf*, wenn es sich um Eisen- und Manganverbindungen handelt. Zapfenartige Gebilde nennen wir *stalaktitisch*. In den Kalkhöhlen entstehen die Stalaktiten (griech. stalassein = tropfen) durch Kalziumkarbonatausscheidung des tropfenden Wassers, das vorher im Gestein zirkulierte und dabei geringe Kalkmengen löste. Andere Stalaktiten sind wohl, ebenso wie die Glasköpfe, getrocknete gallertartige Massen. Ähnlich wie die stalaktitischen Oberflächen weisen auch die kugeligen oder traubigen Formen auf die vormals kolloidale Natur eines Minerals hin (griech. kolla = Leim).

Sekretionen (lat. secretio = Abscheidung, Absonderung) liegen vor, wenn ein ehemaliger Hohlraum im Gestein vollständig von Mineralsubstanz ausgefüllt wurde. Die Sekretionen im Gestein, als Mandeln oder Geoden auftretend, sind wegen ihrer bisweilen schönen ringförmigen Bänderung begehrt. Achat, eine Abart des Quarzes, ist in dieser Ausbildung verbreitet. Andere kugelförmige, brotlaibartige oder ganz unregelmäßig-knollige Mineralaggregate, die *Konkretionen* (lat. concretio = Verdichtung, Verwachsung), haben sich von einem Zentrum aus im noch weichen, unverfestigten Gestein gebildet. Sie sind also, im Gegensatz zu den Sekretionen, von innen nach außen gewachsen. Schließlich müssen wir die *oolithischen Aggregate* erwähnen. In fast allen Sammlungen der Welt ist der Erbsenstein von Karlovy Vary (Karlsbad) vertreten, der diese Ausbildungsweise besitzt. Er besteht aus kugeligen bis eiförmigen, konzentrisch-schalig aufgebauten Ooiden (griech. oon = Ei), von denen sich der Begriff „oolithisch“ ableitet.

Bei der Mineralbestimmung sollten wir jedoch nicht nur auf die bisher beschriebenen Eigenschaften achten, sondern auch berücksichtigen, ob die Aggregate kompakt oder porös sind, ob es sich um feste oder um erdige Massen handelt, ob krustige Überzüge oder „Beschläge“ vorliegen, denn auch diese Ausbildungen sind auf manche Minerale beschränkt. Auf der Bildtafel S. 71 sind einige Aggregatformen zusammengestellt.

Nachdem wir uns im vorigen Abschnitt mit dem Feinbau und der Gestalt der Minerale und mit der Beschaffenheit von Mineralaggregaten befaßten, wollen wir nun einige physikalische Eigenschaften betrachten. Wir beschränken uns dabei auf Merkmale, die ohne große Hilfsmittel schnell bestimmt werden können.

Farbe und Strich

Wer eine Mineralsammlung das erste Mal besichtigt, wird nicht nur über die Vielfalt der Formen erstaunt sein, in denen ein Mineral erscheinen kann, sondern es wird ihn darüber hinaus verwundern, daß manche Minerale in verschiedenen Farben auftreten. Fluorit mit der einfachen chemischen Zusammensetzung CaF_2 kommt in gelben, grünen, violetten, blauen, braunen und roten Farben, aber auch in farblos durchsichtigen würfelförmigen Kristallen vor. Unabhängig von der Färbung handelt es sich immer um die gleiche chemische Verbindung CaF_2 mit einer gleichartigen Anordnung der Kalzium- und Fluor-Ionen. Ähnlich verhält es sich beim Quarz und bei einer großen Zahl anderer Minerale. Beim Quarz haben die Farbabarten sogar eigene Namen erhalten: farbloser Quarz heißt Bergkristall, die weiße Abart Milchquarz, die violette Amethyst, die gelbe Zitrin usw. Bei all diesen Abarten handelt es sich um das Mineral Quarz mit dem Chemismus SiO_2 . Die unterschiedliche Färbung eines Minerals wird meist durch geringfügige Beimengungen, die chemisch kaum nachweisbar sind, verursacht. Bei anderen Mineralen entsteht die Farbe durch Baufehler des Gitters.

Alle Minerale, deren Farbe nicht konstant ist, nennen wir *allochromatisch* (griech. allos = anders, fremd, chroma = Farbe; also fremdfarbig).

Andererseits gibt es eine Reihe von Mineralen, die immer die gleiche Farbe haben. Azurit, ein basisches Kupferkarbonat, ist stets lasurblau und Realgar mit der Zusammensetzung AsS immer rot. Vor allem die metallisch glänzenden Minerale zeichnen sich durch eine konstante Farbe aus. Da sie jedoch nicht selten „anlaufen“ und dann ebenfalls uncharakteristische bunte Farben aufweisen, müssen wir ihre Farbe an einer frischen Bruchfläche ermitteln. Im Gegensatz zu der zuerst besprochenen Gruppe der allochromatischen Minerale nennen wir die Gruppe mit konstanter Farbe *idiochromatisch* (griech. idios = eigen, also eigenfarbig).

Eine interessante Erscheinung können wir am Turmalin, am Cordierit und an anderen durchsichtigen Mineralen wahrnehmen. Die Farbe oder Farbtiefe dieser Minerale hängt von der Blickrichtung ab. Beim Turmalin lassen sich zwei Farbtöne, hellgrün und sehr dunkelgrün, unterscheiden. Cordierit zeigt drei Farben: blauviolett – grau – grau mit Stich ins Blaue, Violette oder Gelbe. Aus der Physik ist uns bekannt, daß die Farben durch Absorption bestimmter Wellenlängen des weißen Lichts zustande kommen. Die

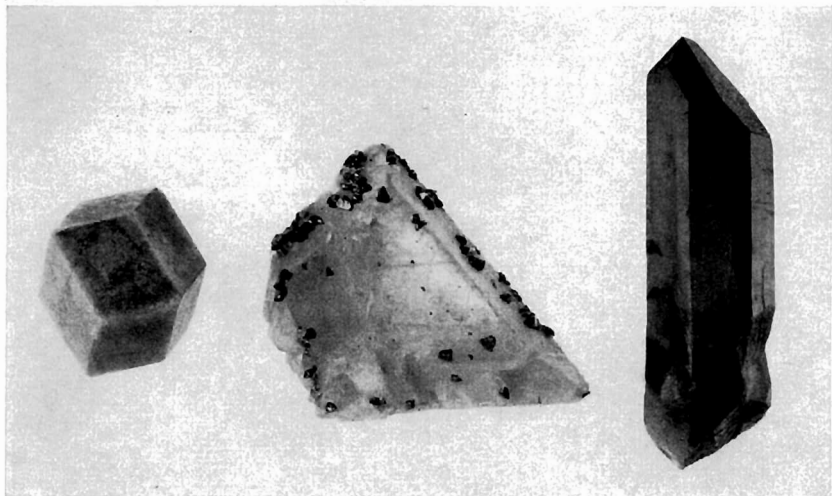


Abb. 20: Granat mit isometrischem, Baryt mit tafeligem und Quarz mit säuligem Habitus

Abb. 21: Vergrößerte, skelettförmige Schneekristalle
(Aufnahme W. A. BENTLY)

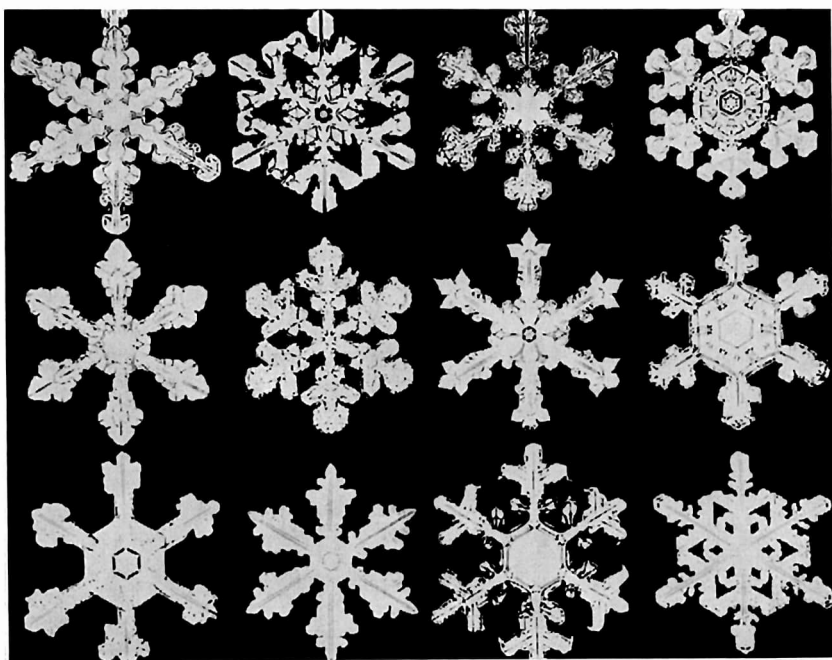
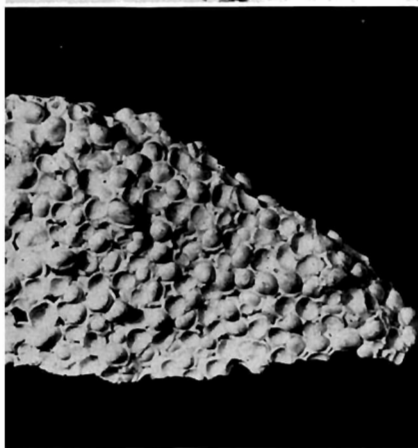
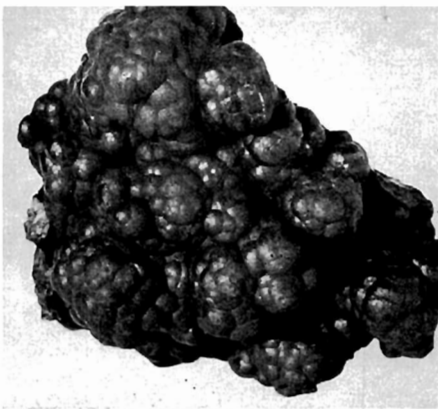


Abb. 22:
Manganhydroxid-
Dendriten auf Kalk-
stein (griech. den-
dron = Baum)



Abb. 25:
Pseudomorphose.
Roteisenerz
in der Kristallgestalt
von Kalzit





Aggregatformen: ästig (Markasit)
oolithisch (Aragonit)
garbenförmig (Desmin)

nierig (Hämatit)
strahlig (Grammatit)
stalaktitisch (Limonit)

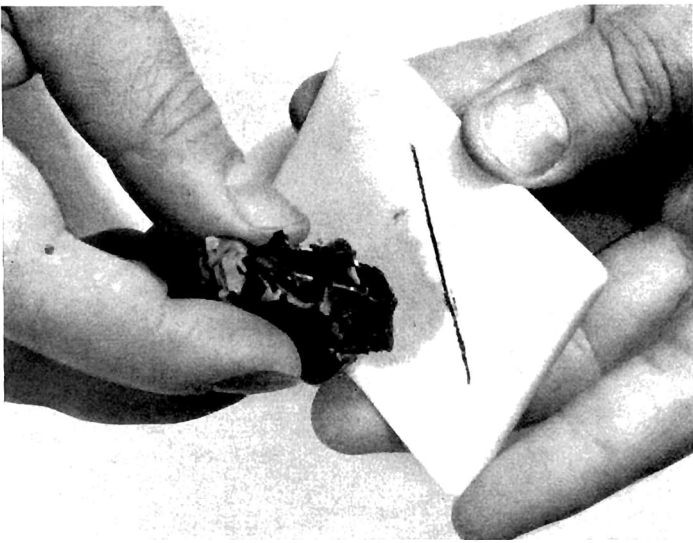


Abb. 26: Die Bestimmung des Strichs
mit einer weißen, unglasierten Porzellantafel (Strichtafel)

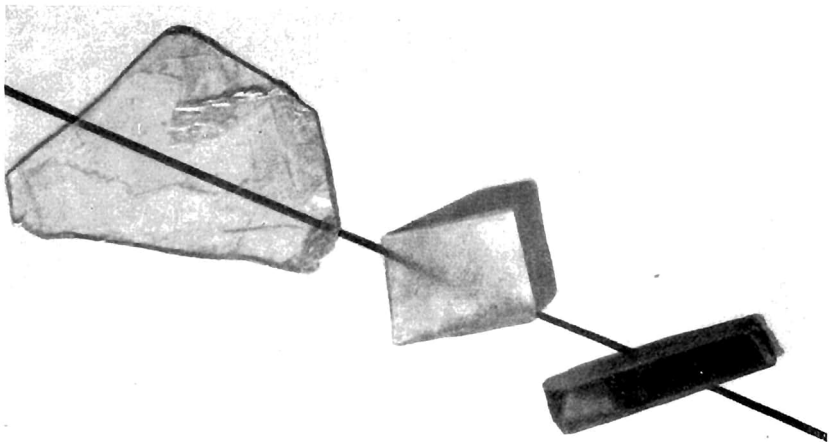


Abb. 27: Ein durchsichtiges, ein halbdurchsichtiges bzw. durchscheinendes
und ein undurchsichtiges Mineral

einzelnen Wellenlängen werden je nach den Atomarten, die das Mineralgitter aufbauen, mehr oder weniger geschwächt. Bei den *dichroitischen* und *pleochroitischen* Mineralen (griech. di- = zwei-, pleon = mehr) findet somit in verschiedenen Kristallrichtungen eine unterschiedliche Absorption statt.

Man sollte die Minerale zum Zweck der Bestimmung nicht in erster Linie nach der Farbe einteilen, da viele Minerale in fast allen Farbgruppen beschrieben werden müßten. Trotzdem ist die Farbe für die Mineralbestimmung ein wesentliches Merkmal. In der Praxis wird die Mineralfarbe meist mit der Farbe bekannter Gegenstände verglichen, woraus sich Begriffe wie messinggelb, apfelgrün, honiggelb, zinnweiß usw. erklären. Erst wenn man in der Farbbestimmung sicher ist, wird man geringe Farbnuancen unterscheiden können und bereits einmal bestimmte Minerale anhand ihres typischen Farbtons erkennen. Um die im Bestimmungsteil benutzten Farbbezeichnungen richtig anzuwenden, orientieren wir uns am besten an einigen idiochromatischen Mineralen (zusammengestellt von BETECHTIN):

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Violett | – Amethyst |
| 2. Blau | – Azurit |
| 3. Grün | – Malachit |
| 4. Gelb | – Auripigment |
| 5. Orange | – Krokoid |
| 6. Rot | – Zinnober (als Pulver) |
| 7. Braun | – poröser Limonit |
| 8. Gelbbraun | – ockerartiger Limonit |
| 9. Zinnweiß | – Arsenkies |
| 10. Bleigrau | – Molybdänglanz |
| 11. Stahlgrau | – Fahlerz |
| 12. Eisenschwarz | – Magnetit |
| 13. Indigoblau | – Covellin |
| 14. Kupferrot | – gediegenes Kupfer |
| 15. Messinggelb | – Kupferkies |
| 16. Metallisch goldgelb | – Gold |

Damit wir uns diese Farben einprägen, können wir aus Sammlungsmaterial eine „Vergleichsskala“ zusammenstellen. Fast alle aufgeführten Minerale sind leicht zu beschaffen.

Die Farberscheinungen, von denen bisher gesprochen wurde, beruhen darauf, daß aus dem Spektrum des weißen Lichtes bestimmte Wellenlängen durch Absorption verschwinden. Ganz anderer Art sind die *Interferenzfarben*. Sie entstehen, wenn sich Lichtwellen überlagern, die an der Oberseite und an feinsten Spaltrissen oder an winzigen Einschlüssen im Inneren eines Minerals reflektiert werden. Diese physikalische Erscheinung ist unabhängig von der Zusammensetzung des Minerals. Wir beobachten sie beim Opal und beim Labrador und bezeichnen sie daher in der Mineralogie als „Opaleszieren“ und „Labradorisieren“. Von den schillernden Ölhäuten auf Wasser oder Asphalt und den bunten Seifenblasen sind uns solche Effekte als NEWTONsche Farben vertraut. Die sogenannten „Anlauffarben“ metal-

lischer Proben kommen ebenfalls dadurch zustande, daß sich die an der Ober- und Unterseite dünner Zersetzungshäutchen spiegelnden Lichtwellen überlagern („interferieren“).

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Bestimmung nach äußeren Kennzeichen ist neben der Farbe des Minerals der *Strich*. Darunter versteht man die Farbe des Mineralpulvers auf einer weißen Unterlage. Um den Strich zu bestimmen, fahren wir mit dem Mineral unter leichtem Druck über eine unglasierte Porzellantafel (Strichtafel) oder ein beliebiges Stück unglasierten Porzellans hinweg (Abb. 26, S. 72).

Die Strichfarbe ist oft eindeutiger als die Mineralfarbe. Davon können wir uns leicht überzeugen, wenn wir einige Farbabarten eines Minerals in bezug auf den Strich bestimmen. Der Fluorit, den wir als Beispiel für fremdfarbige Minerale erwähnten, liefert immer einen weißen Strich, unabhängig von seiner Farbe. Für viele allochromatische Substanzen ist der Strich konstant und deshalb charakteristischer als ihre Farbe. Bei den eigenfarbigen Mineralen besteht zwischen der Farbe und dem Strich mitunter ein auffälliger Kontrast. Der Strich des goldgelben Pyrits ist grünlichschwarz, um nur ein Beispiel zu geben.

Glanz und Durchsichtigkeit

Licht, das auf eine glatte Fläche auftritt, wird teils gebrochen und teils gespiegelt. Den *Glanz* ruft der zurückgeworfene Lichtanteil hervor. Die Intensität des Glanzes ist unabhängig von der Farbe eines Minerals. Nach einer zuerst von FRESNEL abgeleiteten Formel ist die Menge des reflektierten Lichtes um so größer, je stärker das Licht von einem Mineral gebrochen wird.

In recht einfacher Weise können wir die Minerale bei bloßer Betrachtung nach ihrem Glanz in *metallisch glänzende* und *nichtmetallisch glänzende* unterteilen. Wir brauchen die Glanzerscheinungen nur mit Metallen, die uns bekannt sind, oder mit nichtmetallischen Gegenständen, wie Glas u. a., zu vergleichen. Metallglanz ist an undurchsichtige Minerale mit hoher Lichtbrechung gebunden. Nichtmetallisch glänzen demgegenüber Minerale mit niedriger bis mittlerer Lichtbrechung. Zwischen diesen beiden Gruppen stehen die *halbmetallisch glänzenden* Minerale: Zwar brechen sie das Licht stark, doch sind sie von durchsichtiger bis durchscheinender Beschaffenheit.

Der Haupteinteilung der Minerale im Bestimmungsteil liegt die Art des Glanzes zugrunde.

Sollte es uns einmal schwerfallen, dieses Merkmal zu ermitteln, dann benutzen wir auch hier, nach dem Vorschlag von TERTSCH, die Strichtafel: Der Strich metallisch glänzender Minerale läßt das Weiß der Unterlage nicht mehr durchscheinen, d. h. das Mineralpulver ist undurchsichtig. Nichtmetallisch glänzende Minerale liefern einen weißen oder nur schwach ge-

färbten Strich. An einem dunkelfarbigem, durch das Weiß der Unterlage aufgehellten Strich erkennen wir halbmatt glänzende Minerale.

Oft läßt sich der Glanz eines Minerals noch näher bezeichnen, wobei wir uns wiederum des Vergleichs bedienen und von *Wachs-*, *Fett-*, *Diamant-*, *Perlmutter-*, *Glasglanz* usw. sprechen. Diese speziellen Glanzeigenschaften haben verschiedene Ursachen. Sie können von winzigen Einschlüssen herühren oder durch Spiegelung an Spaltrissen oder parallel gerichteten Fasern bewirkt werden. Der Diamantglanz – wir beobachten ihn nicht nur am Diamanten selbst – setzt eine höhere Lichtbrechung als der Glasglanz voraus.

Die eigentlichen Glanzerscheinungen lassen sich nur an glatten Flächen beobachten. An unebenen und rauen Flächen wird das Licht in die verschiedensten Richtungen zerstreut; dadurch sehen die Flächen *matt* aus. (Minerale mit solchen Oberflächen weisen „*Mattglanz*“ auf.)

Sowohl der allgemeine Glanz als auch die speziellen Glanzarten sind für die Bestimmung der Minerale nach äußeren Kennzeichen sehr wichtig.

Der gebrochene Lichtanteil, der sich im Mineral fortpflanzt, geht entweder mit kaum abgeschwächter Intensität hindurch, so daß das Mineral *durchsichtig* erscheint, oder er wird mehr oder weniger stark verschluckt (absorbiert). Wieviel Licht durchtritt, hängt von der chemischen Natur des Stoffes ab. Bei den Metallen und fast allen Sulfiden, aber auch bei anderen Verbindungen tritt überhaupt kein Licht wieder aus. Diese Stoffe sind *undurchsichtig*. Eine etwas größere Lichtdurchlässigkeit haben Minerale wie Zinkblende, Zinnober u. a., die wir *halbdurchsichtig* nennen (Abb. 27, S. 72).

Bei der Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit müssen wir die Dicke des Minerals berücksichtigen, da manche Proben in dünnen Schichten und an den Kanten auch dann etwas Licht durchlassen, wenn sie im größeren Stück undurchsichtig sind. Außerdem kann die Lichtdurchlässigkeit nur an einheitlichen Kristallen, nicht etwa am Kristallaggregat, ermittelt werden. In den Aggregaten wird ja das Licht nach allen Richtungen zerstreut, so daß selbst lichtdurchlässige Stoffe, wenn sie in körniger oder blättriger Beschaffenheit vorliegen, undurchsichtig und weiß gefärbt sind.

Härte

Bei der Mineralbestimmung hat sich die *Ritzhärte* als kennzeichnende Eigenschaft sehr gut bewährt. Wir verstehen darunter den Widerstand, den ein Mineral dem Ritzen entgegensetzt. Für die praktische Bestimmung ist auch heute noch die 1822 von F. MOHS aufgestellte Skala von zehn Mineralen im Gebrauch. Die einzelnen Glieder dieser Härteskala sind folgende:

MOHSSCHE Skala Härtegrad	Mineral	einfacher Test
1	Talk	Fingernagel ritzt bis
2	Steinsalz oder Gips	Härte 2
3	Kalzit	Kupfermünze ritzt bis Härte 3
4	Fluorit	Stahlspitze eines Taschen-
5	Apatit	messers ritzt bis Härte 6
6	Orthoklas	
7	Quarz	
8	Topas	
9	Korund	Fensterglas wird geritzt
10	Diamant	von Mineralen ab Härte 6

Wenngleich es sich bei der Bestimmung der Ritzhärte um keine physikalisch exakte Methode handelt und die Intervalle zwischen den einzelnen Gliedern zudem ungleich sind, so ist dieses Verfahren doch überaus praktisch. Es gibt zwei Möglichkeiten, die Härteprüfung durchzuführen: Wir ritzen mit einem scharfkantigen Splitter des fraglichen Minerals die einzelnen Glieder der Skala und stellen auf diese Weise seinen Härtegrad fest. Zum anderen können wir versuchen, mit einer scharfen Kante oder Ecke der Minerale unserer Härteskala eine möglichst ebene Fläche des Minerals zu ritzen, das wir bestimmen wollen. Gleich harte Minerale ritzen sich gegenseitig nicht. Ein Mineral der Härte 7 läßt sich also von Quarz nicht ritzen und ritzt Quarz auch nicht. Ritzt das fragliche Mineral Kalkspat (Härte 3) und wird es andererseits von Flußspat (Härte 4) geritzt, dann sagt man einfach, es habe die Härte $3\frac{1}{2}$. Da es sich nur um einen recht groben Vergleich handelt, gibt man keine genaueren Werte an, sondern begnügt sich mit der Feststellung, daß die Härte zwischen zwei Stufen der MOHSSchen Skala liegt.

Die Härte muß am Einzelkristall bestimmt werden, nicht etwa an Kristallaggregaten, die weicher oder härter als das Mineral sein können. Bei einigen Mineralen ist die Ritzhärte in verschiedenen Richtungen ungleich. Disthen, dessen Name sich von dieser Eigenschaft herleitet (griech. *dis* = zweifach, *sthenos* = Härte), hat in der Längsrichtung die Härte 5, quer zur Längsrichtung der säulig-tafeligen Kristalle dagegen die Härte 7. Solche Fälle mit extremen Härteunterschieden sind jedoch selten. Praktisch benötigen wir zur Härtebestimmung vor allem die Glieder 1 bis 8 der MOHSSchen Härte-

skala. Die dafür erforderlichen Minerale kann man sich leicht selbst zusammenstellen. Bereitet das Schwierigkeiten, dann behelfen wir uns fürs erste mit dem Fingernagel (bis Härte 2), einer Kupfermünze (Härte 3), einem Stück Fensterglas (Härte 5) und einem Taschenmesser (Härte 6).

Spaltbarkeit und Bruch

Wer sich erstmalig mit Mineralen befaßt, wird über das Resultat des folgenden Versuchs erstaunt sein.

Mit einem spitzen Gegenstand drücken wir kräftig auf einen Steinsalzwürfel. Plötzlich spaltet der Würfel, und es entstehen zwei Spaltstücke mit spiegelnden Flächen. Wenn wir den Versuch wiederholen, ergeben sich immer wieder neue, spiegelnde Spaltflächen, die den ursprünglichen Würfel­flächen des Kristalls parallel gehen. Nun führen wir das gleiche Experiment mit Fluorit durch und beobachten, daß der würfelförmige Kristall eine ganz andere Spalt­richtung zeigt. Bei diesem Mineral platzen die Ecken ab, und zuletzt entsteht ein von acht spiegelglatten Flächen begrenzter Spaltkörper, ein Oktaeder. Wir sagen, das Steinsalz spaltet nach dem Würfel, während Fluorit nach dem Oktaeder spaltet (Abb. 28).

Die Spaltbarkeit ist eine Eigenschaft, die erhalten bleibt, auch wenn wir den oben beschriebenen Versuch beliebig oft wiederholen: Es werden dann immer kleinere Steinsalzwürfel erzeugt. Viele Minerale spalten nach mehreren Richtungen. Kalzit liefert unabhängig von der äußeren Gestalt, in der er auftritt, rhomboederförmige Spaltkörper (Abb. 29).

Von den Glimmern lassen sich hauchdünne Plättchen abspalten. Obgleich die Spaltbarkeit nicht an Risse im Mineral gebunden ist, sondern allein von der Gitterstruktur abhängt, deutet sie sich nicht selten durch feine, parallele Risse an. Solche Risse sind bei einer natürlichen mechanischen Beanspruchung entlang den Gitterebenen, die sich leichter voneinander ablösen, entstanden.

Wenn wir feststellen, daß ein Mineral spaltet, dann müssen wir versuchen, die Spalt­richtung bzw. -richtungen auf kristallographische Elemente zu beziehen. Wir werden beim Topas finden, daß er senkrecht zur c-Achse oder, anders ausgedrückt, in der Ebene (001) spaltet. Beim Steinsalz sind

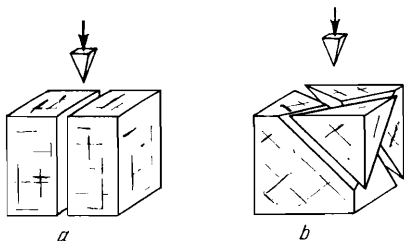


Abb. 28: Die Spaltbarkeit des Steinsalzes (a) und des Fluorits (b)

die sechs Richtungen – sie entsprechen den Würfflächen – gleichwertig. Das ist auch der Grund, weshalb Steinsalz nach allen Flächen hin gleich gut spaltet. Für Minerale mit niedriger Symmetrie trifft das nicht zu. Zum Beispiel spaltet monokliner Gips in drei Richtungen verschieden gut.

Die Spaltbarkeit ist eine derart auffallende Eigenart, daß eine ganze Reihe von Mineralen als „Spate“ (abgeleitet von spalten) bekannt sind: Feldspat, Flußspat, Schwerspat, Kalkspat, Eisenspat u. a. m. Bei einem Feldspat hat man rechtwinklige Spaltbarkeit beobachtet. Er wurde aus diesem Grund *Orthoklas* (griech. orthos = gerade, klasis = Spaltung; der Spaltwinkel beträgt 90°) genannt im Gegensatz zum *Plagioklas* (griech. plagios = schief), einem anderen Feldspat. Für die praktische Mineralbestimmung hat man die folgende Spaltbarkeitsskala aufgestellt:

Bezeichnung	Spalteigenschaft	Beispiele
Sehr vollkommen	Feinste Blättchen lassen sich abspalten	Glimmer, Gips
Vollkommen	Beim Zerschlagen erhält man immer Spaltkörper	Kalzit, Bleiglanz
Gut	Auf Bruchstücken lassen sich sowohl Spalt- als auch unebene Bruchflächen beobachten	Feldspate, Hornblenden
Deutlich	Auf Bruchflächen sind untergeordnet ebene Spaltablösungen vorhanden	Zinnstein, Apatit
Undeutlich	Neben unregelmäßigen Bruchflächen sind nur <i>ausnahmsweise</i> glatte Flächen aufzufinden	Magnetit, Korund

Werden Minerale, die nicht spaltbar sind, mechanisch beansprucht, so entstehen *Bruchflächen*, also unebene und von der Atomanordnung völlig unabhängige Flächen. Solche Bruchflächen sollte man genau betrachten, denn auch deren Beschaffenheit ist ein Anhaltspunkt für die Bestimmung der Minerale. Wir unterscheiden *hakige*, *splittrige*, *unebene* und *muschelige* Bruchflächen. Hakigen Bruch zeigen vor allem einige natürlich vorkommende Metalle, wie Silber, Gold, Kupfer und Platin. Muschelähnliche Bruchflächen beobachten wir vorwiegend bei amorphen Mineralen und bei dichten Aggregaten (Abb. 30). Je nach der Art des Gefüges können Mineralaggregate auch *körnige*, *schalige*, *stengelige*, *faserige* oder *erdige* Bruchflächen aufweisen.

Dichte

Die in der Volumeneinheit enthaltene Masse eines Körpers bezeichnen wir als Dichte. Die Volumeneinheit ist ein Kubikzentimeter = cm³, und die Masse drücken wir in Gramm = g aus. Die Dichte ist demnach der Quotient aus Masse und Volumen eines Stoffes:

$$D = \frac{m}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}.$$

Die Dichte der Minerale hängt von der Masse der Atome, die ein Mineral aufbauen, aber auch von der Packungsdichte dieser Atome ab. Bereits früher haben wir gesehen, daß manche Elemente oder chemische Verbindungen verschiedene Gitter aufbauen können. Solche Modifikationen (lat. *modificatio* = abgewandelte Form) haben auf Grund der andersartigen Atomanordnung auch unterschiedliche Dichten. Am Beispiel der Minerale mit der chemischen Formel SiO_2 haben wir auf Seite 44 auf diese Tatsache hingewiesen. Beim *Quarz* wird ein Siliziumatom von vier Sauerstoffatomen umgeben, deren Schwerpunkte in den Ecken eines Tetraeders liegen. Diese tetraedrische Verknüpfung der Atome bedingt die Dichte $2,654 \text{ g/cm}^3$. Eine engere Atompackung hat der bei viel höheren Drucken entstehende *Stishovit*, in dessen Gitter ein Siliziumteilchen von sechs Sauerstoffkugeln oktaedrisch umgeben ist. Seine Dichte ist demzufolge größer und beträgt $4,28 \text{ g/cm}^3$.

Die Dichte ist eine wichtige physikalische Konstante. Um sie zu bestimmen, benötigen wir einige einfache Instrumente, vor allem eine genaue Waage. Auch können wir dieses Merkmal nicht, wie die bisher behandelten, im Gelände ermitteln. Da es aber in allen Schulen die für eine Dichtebestimmung nötigen Geräte und anderes Zubehör geben wird, sollen einige Verfahren erläutert werden.

Die Dichte der Minerale schwankt zwischen 1 und 20 g/cm^3 . Bei Proben, die aus einem einzigen Mineral bestehen oder die nur wenig verunreinigt sind, können wir gefühlsmäßig zwischen leicht, normal und schwer unterscheiden. Als normal empfinden wir Proben mit einer Dichte zwischen 2 und 4 g/cm^3 . Das erklärt sich daraus, daß viele Stoffe, die uns im täglichen Leben umgeben, solche Dichtewerte aufweisen. Als leicht beurteilen wir Minerale, deren Dichte kleiner als 2 g/cm^3 ist, und schwer erscheinen uns andererseits solche mit einer Dichte größer als 4 g/cm^3 . Besonders bei nicht-metallischen Proben, wie bei dem spätigen *Baryt* (griech. *barys* = schwer) oder *Schwerspat* mit der Dichte $4,5 \text{ g/cm}^3$, trägt die unerwartet hohe Dichte der Proben zur richtigen Bestimmung bei. Die Dichte gefühlsmäßig zu beurteilen ist eine grobe und nicht immer zuverlässige Methode. Diesem Verfahren sind physikalische Dichtebestimmungen vorzuziehen. Wenn eine reine und genügend große Mineralprobe vorliegt, ermitteln wir ihre Masse mit einer *Standwaage*. Dann tauchen wir die Probe in einem *Meßzylinder* in Wasser unter und bestimmen das verdrängte Wasservolumen, das dem Volumen des Körpers entspricht. Das Volumen kann auch bestimmt werden, indem wir den Körper in ein *Überlaufgefäß* tauchen und das verdrängte Wasser in einem Meßzylinder auffangen und messen. Die so erhaltenen Werte für die Masse und das Volumen setzen wir in die Formel für die Dichtebestimmung ein und erhalten durch einfache Berechnung den gesuchten Wert. Wird die Dichte nach dem Verfahren der Flüssigkeitsverdrängung bestimmt, dann soll die Probe mindestens 100 cm^3 groß sein.

Solche großen Stücke eines Minerals stehen uns meist nicht zur Verfügung, so daß wir uns anderer Methoden bedienen müssen.

Beim Auftriebsverfahren wird die Mineralprobe, die ein Volumen von mindestens 50 cm^3 aufweisen soll, zweimal gewogen. Zuerst wiegt man das Mineral in Luft und erhält dadurch die Masse in Luft $= m_L$. Dann wird die Probe vollständig in Wasser eingetaucht und erneut gewogen; die jetzt durch den Auftrieb verringerte Masse ist die Masse in Wasser $= m_W$. Der Betrag $m_L - m_W$ ist dem Volumen des Minerals zahlenmäßig gleich, so daß sich die Dichte nach der Formel:

$$D = \frac{m_L}{m_L - m_W}$$

errechnet.

Praktisch verwendet man für das Auftriebsverfahren entweder die *hydrostatische Waage* oder die *Federwaage nach JOLLY*. Bei der hydrostatischen Waage befindet sich über der einen Waagschale ein Gehänge. Das Mineral, dessen Dichte man bestimmen will, wird zuerst auf der Waagschale gewogen. Vor dem zweiten Wiegen befestigt man es an dem Gehänge und bringt es unter Wasser.

Beispiel: Eine Mineralprobe wiegt in Luft $m_L = 58,90 \text{ g}$. Die zweite Wägung, bei der sich das Stück unter Wasser befindet, ergibt eine Masse $m_W = 31,61 \text{ g}$.

Daraus errechnet sich die Dichte

$$D = \frac{58,90}{58,90 - 31,61} = \frac{58,90}{27,29} = 2,16 \text{ g/cm}^3.$$

Stehen uns für die Dichtebestimmung nur geringe Probemengen zur Verfügung, dann müssen wir ein *Pyknometer* und eine *Analysenwaage* benutzen. Das Pyknometer ist ein kleines, mit einem durchbohrten Stopfen verschließbares Glasgefäß. Drei Wägungen sind erforderlich:

1. Masse des Minerals $= m_{Min}$
2. Masse des mit Wasser gefüllten Pyknometers $= P_W$ und
3. Masse des Pyknometers, in dem sich das Mineral befindet und das mit Wasser aufgefüllt ist $= P_{m+W}$.

Die Formel für die Dichtebestimmung mit dem Pyknometer lautet:

$$D = \frac{m_{Min}}{P_W + m_{Min} - P_{m+W}}$$

Beispiel:

Durch drei Wägungen wurden ermittelt:

M_{Min}	$= 3,05 \text{ g}$
P_W	$= 76,54 \text{ g}$
P_{m+W}	$= 79,25 \text{ g}$

Als Dichte ergibt sich:

$$D = \frac{3,05}{76,54 + 3,05 - 79,25} = \frac{3,05}{0,34} = 8,97 \text{ g/cm}^3.$$

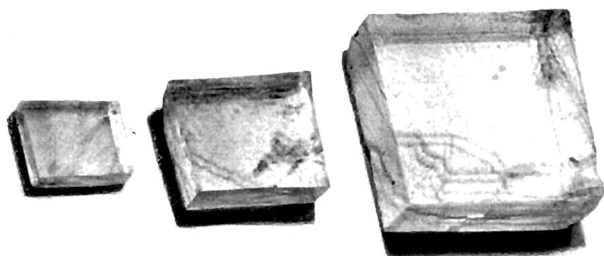


Abb. 29: Durch Spaltung erzeugte Rhomboeder von Kalzit

Ein weiteres Verfahren, bei dem ebenfalls sehr geringe Probenmengen ausreichen, ist die *Schwebemethode*. Für die Durchführung benötigen wir eine MOHRsche Waage und verschiedene mischbare Flüssigkeiten, von denen jeweils eine schwerer, die andere leichter als das Mineral sein muß, dessen Dichte wir ermitteln wollen.

Hierfür eignen sich:

Dichteflüssigkeit (Dichte)	zu verdünnen mit
Bromoform (2,9)	Benzol oder Toluol
Kaliumquecksilberjodid (THOULETSche Lösung $D = 3,2$)	destilliertem Wasser
Methylenjodid (3,33)	Benzol
CLERICISChe Lösung (4,1)	destilliertem Wasser

CLERICISChe Lösung ist sehr teuer und außerdem giftig, so daß sie nur vom Fachmineralogen verwendet werden sollte. Minerale, deren Dichte höher als die der genannten Flüssigkeiten ist, können natürlich nicht zum Schweben gebracht werden.

Die praktische Bestimmung geht folgendermaßen vor sich:

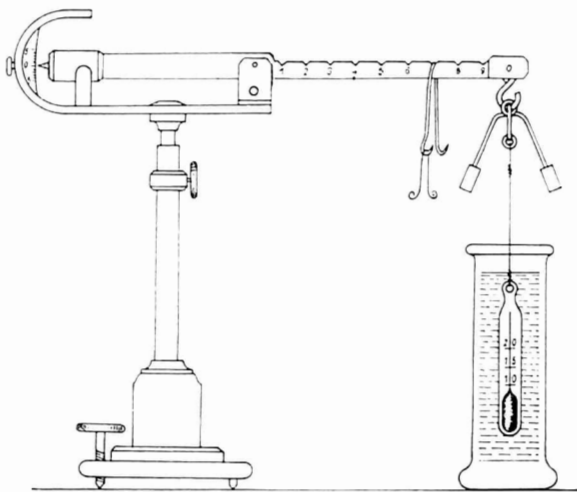
In eine Flüssigkeit mit größerer Dichte, als sie das Mineral aufweist, bringt man einen kleinen Splitter. Dieses Mineralteilchen schwimmt auf der Flüssigkeitsoberfläche. Nun verdünnt man die Flüssigkeit langsam – sie muß währenddessen ständig gut durchmischt werden – bis der Mineral-splitter darin schwebt. Die Flüssigkeit hat dann die gleiche Dichte wie der in ihr schwebende Körper. Mit der MOHRschen Waage wird anschließend die Dichte des Flüssigkeitsgemisches bestimmt (Abb. 31).

Zu diesem Zweck füllt man die Flüssigkeit in einen Glaszylinder. Zur Waage gehören ein Senkkörper und ein Satz Reiter (Gewichte), deren Massen sich



Abb. 30: Muscheliger Bruch (Steinmark von der Insel St. Helena)

Abb. 31: Dichtebestimmung mit der MOHRschen Waage



wie 3 : 2 : 1 : 0,1 : 0,01 verhalten. Im Haken am Ende des Waagebalkens gleicht der drittgrößte Reiter den Auftrieb aus, wenn sich der Senkkörper in Wasser befindet. Das entspricht der Dichte 1. Da die Flüssigkeiten, in denen Mineralsplitter zum Schweben gebracht werden, eine höhere Dichte aufweisen, wird der Senkkörper in ihnen zunächst nach oben steigen. Zum Ausgleich des Auftriebs müssen wir nun die Gewichte so in die Kerben einhängen, daß die am linken Ende des Waagebalkens angebrachte Spitze auf die Nullmarke der gegenüber befindlichen Skala zeigt. Die Teilstriche des Balkens, auf denen die Reiter sitzen, geben die Dezimalen an. Hängt zum Beispiel der drittschwerste Reiter in der Kerbe 7, dann bedeutet das 0,7. Auf der Abbildung 31 ist der schwerste Reiter am Haken befestigt; der dritt- und viertschwerste belasten beide den Waagebalken auf Kerbe 7. Die Dichte der Flüssigkeit beträgt also $3,77 \text{ g/cm}^3$. Wer genaue Dichtebestimmungen vornehmen will, sollte, um Fehler weitgehend auszuschalten, in einem Physiklehrbuch darüber nachlesen.

Lumineszenz

Unter dem Begriff Lumineszenz fassen wir alle Leuchterscheinungen zusammen, die nicht durch starkes Erhitzen verursacht werden. Solche Erscheinungen treten mitunter beim Zerreiben von Mineralen oder beim Erwärmen unterhalb der Glühtemperatur auf. Wird das Leuchten von ultraviolettten Strahlen hervorgerufen, dann sprechen wir von *Fluoreszenz*. In diesem Fall sendet ein Mineral, wenn es mit kurzwelligem (etwa $2530 \text{ \AA}$) oder langwelligem (etwa $3650 \text{ \AA}$) unsichtbaren Licht bestrahlt wird, sichtbares Licht aus, so daß es rot, orange, gelb, grün, blau oder violett leuchtet. Von etwa 200 Mineralen wissen wir, daß sie fluoreszieren können. Als Ursache gelten geringe Beimengungen von Fremdbestandteilen. Kalzit fluoresziert z. B., wenn ihm 1 bis 5% Mangan beigemischt sind. Einige wirtschaftlich wichtige Minerale, wie Scheelit CaWO_4 als Wolframerz und zahlreiche Uranverbindungen, fluoreszieren in charakteristischer Weise. Bei der Suche nach solchen Erzen bedient sich der Fachmann tragbarer Ultraviolett-lampen. Notfalls genügt eine Höhensonne, deren sichtbarer Wellenlängenbereich von einem Violettglas abgefangen wird. Das farbige Leuchten ist so eindrucksvoll, daß manche Sammler geeignete Stufen in besonderen, mit UV-Licht bestrahlten Vitrinen ausstellen. Da es nur wenige Minerale gibt, die immer fluoreszieren, und außerdem einige davon verschiedene Fluoreszenzfarben aufweisen können, ist eine eindeutige Mineralbestimmung allein auf dieser Grundlage nicht möglich. Wer jedoch eine Ultraviolettlampe bzw. Analysenlampe zur Verfügung hat, sollte nicht darauf verzichten, diese reizvollen Leuchteffekte zu untersuchen. Einige häufig fluoreszierende Minerale sind, gegliedert nach ihren Leuchtfarben, in der folgenden Tabelle zusammengestellt (Tabelle S. 84/85).

Häufig fluoreszierende Minerale

Mineralname	Farbe	Härte
Fluoreszenzfarbe ROT		
Kalomel	rötlich	1–2
Steinsalz	rot bis rosa	2
Kalzit	rot, rosa, orangerot	3
Dolomit	rosa, orangerot	3½–4
Aragonit	rot, rosa	3–4
Wollastonit	rosa, orangerot	4½–5
Grammatit	rosa	5–6
Rhodonit	tiefrot	5½–6
Nephelin	orangerot	5½–6
Spinell	rot bis rosa	7½–8
Fluoreszenzfarbe ORANGE		
Kalzit	orange	3
Aragonit	orange	3–4
Wollastonit	rotorange	4½–5
(Mangan-)Epidot	gelborange	4½–5
Pektolith	orange	5
Wernerit	gelborange	5–6
Sodalith	orange, gelborange	5½–6
Zirkon	orange, gelborange	7½
Fluoreszenzfarbe GELB		
Autunit	grüngelb	2–2½
Uranotil	zitronengelb	2–3
Serpentin	gelb, weißgelb	2–5
Phosgenit	gelb, orangegelb	3
Anglesit	gelb, weißgelb	3
Zerussit	gelbweiß	3–3½
Powellit	gelb, goldgelb	3½–4
Scheelit	weiß- bis grüngelb	4½–5
Wollastonit	gelb, gelblich	4½–5
Hemimorphit	gelb, gelblich	4½–5
(Mangan-)Epidot	orange gelb	5
(Chlor-)Apatit	gelb	5
Sodalith	gelb, gelborange	5–6
Opal	gelblich, grüngelb	5–6
Quarz	gelblich, gelb	7
Zirkon	goldgelb, orange gelb	7½
Fluoreszenzfarbe GRÜN		
Autunit	intensiv gelbgrün	2–2½
Uranozirzit	intensiv gelbgrün	2–2½
Hydrozinkit	weißgrün	2½
Uranotil (= Uranophan)	schwach grün	2–3
Stolzit	weißgrün	3
Fluorit	grünlich, gelbgrün	4
Chabasit	tiefgrün	4–5

Mineralname	Farbe	Härte
Willemitt	grün	5 $\frac{1}{2}$
Opal	grün, gelbgrün	5–6
Hyalit	grün	5–6
Achat	grün	7
Quarz	grün	7
Fluoreszenzfarbe BLAU (VIOLETT)		
Hydrozinkit	weißblau	2–2 $\frac{1}{2}$
Witherit	blau	3 $\frac{1}{2}$ –4
Fluorit	weißblau	4
Scheelit	weißblau, blau	4 $\frac{1}{2}$ –5
Benitoit	himmelblau	6 $\frac{1}{2}$
Diamant	blau	10
Fluoreszenzfarbe WEISS		
Ulexit	weiß	1
Sepiolith (Meerschaum)	blauweiß	2–2 $\frac{1}{2}$
Hydrozinkit	blauweiß	2–2 $\frac{1}{2}$
Stolzit	grün-, grauweiß	3
Kalzit	weiß, gelbweiß	3
Powellit	gelbweiß	3 $\frac{1}{2}$ –4
Aragonit	gelbweiß, weiß	3 $\frac{1}{2}$ –4
Witherit	gelbweiß, weiß	3 $\frac{1}{2}$ –4
Fluorit	blauweiß	4
Colemanit	weiß, gelbweiß	4–4 $\frac{1}{2}$
Wollastonit	gelbweiß	4 $\frac{1}{2}$ –5
Scheelit	gelbweiß, weiß	4 $\frac{1}{2}$ –5
Grammatit	weißlich	5–6

Andere physikalische Eigenschaften

Eine Reihe weiterer physikalischer Eigenschaften der Minerale, wie *Licht- und Doppelbrechung*, aber auch das *thermische und elektrische Verhalten*, scheiden für die Bestimmung nach *äußeren Kennzeichen* aus.

Viele Minerale, vorwiegend eisenhaltige, werden vom Magneten angezogen oder beeinflussen eine Magnetnadel. Magneteisen und Magnetkies wirken sogar selbst wie ein Magnet, denn sie ziehen kleine Eisengegenstände an, die an ihnen haften bleiben (Abb. 32. S. 91).

Die *Schmelzbarkeit* werden wir in Verbindung mit dem Lötrohrverfahren im folgenden Abschnitt besprechen. Schließlich soll auf die *Tenazität* (lat. tenacitas = Festhalten, tenax = fest oder zusammenhaltend) hingewiesen werden, worunter wir das Verhalten beim Ritzen oder Zerschlagen zu verstehen haben. Dabei können wir zwischen spröde, dehnbar, biegsam usw. unterscheiden.

Atombau und chemische Elemente

Im zweiten Abschnitt wurde auf Seite 41 beschrieben, wie sich das Mineralgitter aus Atomen bzw. Ionen zusammensetzt. Als Bauteilchen der Atome lernten wir die Protonen, Elektronen und Neutronen kennen. Im Kern eines Atoms befinden sich die positiv geladenen Protonen und elektrisch neutrale Elementarteilchen, sogenannte Neutronen. Diesen Kern umkreisen in großer Entfernung die Elektronen, deren Masse 1836mal kleiner ist als die eines Protons. Uns ist das Bild des Sonnensystems vertraut: Um die Sonne bewegen sich auf bestimmten Bahnen die neun Planeten, die nur einen verschwindend kleinen Raum ausfüllen und die einen winzigen Bruchteil der Sonnenmasse ausmachen. Ganz ähnlich, nur in einem viel, viel kleineren Maßstab, haben wir uns nach den beiden Physikern BOHR und RUTHERFORD den Bau der Atome vorzustellen.

Die Atome sind mit chemischen Mitteln nicht zerlegbar. Wir sprechen aus diesem Grund auch von chemischen Elementen oder Grundstoffen. Die gesamte Materie baut sich aus diesen Elementen oder aus Verbindungen mehrerer Elemente auf. Die Wissenschaft kennt 103 solcher Grundstoffe, von denen aber nur 91 in der Natur vorkommen. Die restlichen Elemente konnten im Laboratorium künstlich erzeugt werden. Jedes Element ist durch die Anzahl seiner Protonen gekennzeichnet, die als *Ordnungszahl* eingeführt wurde. Die Elemente hat man mit lateinischen Namen benannt; der erste bzw. der erste und ein zweiter Buchstabe dieses lateinischen Namens bilden das chemische Zeichen oder Symbol (Tabelle S. 87).

Den einfachsten Atombau hat der Wasserstoff, das Element mit der Ordnungszahl 1 und dem Symbol H (= Hydrogenium). Der aus einem Proton bestehende Kern wird von einem Elektron umkreist. Mit jedem weiteren Proton steigt die Ordnungszahl um 1, und wir erhalten ein neues Element. Helium = He (griech. helios = Sonne) besitzt in seinem Kern zwei Protonen. Diesen Kern umkreisen zwei Elektronen im gleichen Abstand. Die größte Anzahl von Protonen und somit die höchste Ordnungszahl hat in der Natur das Element Uran = U. In seinem Kern befinden sich neben 92 Protonen in der Regel noch 146 Neutronen. Diesen Kern umkreisen 92 Elektronen, die sich auf mehreren Bahnen bewegen.

Zu einem Element können mehrere Atomarten gehören. Sie weisen alle die gleiche Anzahl von Protonen und Elektronen auf, unterscheiden sich aber durch die Anzahl der Neutronen und durch ihr Gewicht voneinander und heißen *Isotope*. Ihr Name (griech. isos = gleich, topos = Platz) bezieht sich darauf, daß sie im Periodensystem der Elemente den gleichen Platz haben (s. S. 94/95). Vom Wasserstoff, dem Element mit der Ordnungszahl = Kernladungszahl 1, sind uns drei Isotope bekannt. Das vorherrschende Isotop ist der Wasserstoff im engeren Sinne, dessen Atomkern nur ein Proton ent-

Die natürlichen chemischen Elemente und ihre Atomgewichte (alphabetisch geordnet nach dem chemischen Symbol)

Symbol	Element (Ordnungszahl)	Atom- gewicht	Symbol	Element (Ordnungszahl)	Atom- gewicht
Ac	Aktinium (89)	227,0	N	Stickstoff (7)	14,0
Ag	Silber (47)	107,9	Na	Natrium (11)	23,0
Al	Aluminium (13)	27,0	Nb	Niob (41)	92,9
Ar	Argon (18)	40,0	Nd	Neodym (60)	144,3
As	Arsen (33)	74,9	Ne	Neon (10)	20,2
At	Astatin (85)	210,0	Ni	Nickel (28)	58,7
Au	Gold (79)	197,0	O	Sauerstoff (8)	16,0
B	Bor (5)	10,8	Os	Osmium (76)	190,2
Ba	Barium (56)	137,4	P	Phosphor (15)	31,0
Be	Beryllium (4)	9,0	Pa	Protaktinium (91)	231,0
Bi	Wismut (83)	209,0	Pb	Blei (82)	207,2
Br	Brom (35)	79,9	Pd	Palladium (46)	106,4
C	Kohlenstoff (6)	12,0	Pm	Promethium (61)	145,0
Ca	Kalzium (20)	40,1	Po	Polonium (84)	208,0
Cd	Kadmium (48)	112,4	Pr	Praseodym (59)	140,9
Ce	Zer (58)	140,1	Pt	Platin (78)	195,1
Cl	Chlor (17)	35,5	Ra	Radium (88)	226,1
Co	Kobalt (27)	58,9	Rb	Rubidium (37)	85,5
Cr	Chrom (24)	52,0	Re	Rhenium (75)	186,2
Cs	Zäsium (55)	132,9	Rh	Rhodium (45)	102,9
Cu	Kupfer (29)	63,5	Rn	Radon (86)	222,0
Dy	Dysprosium (66)	162,5	Ru	Ruthenium (44)	101,1
Er	Erbium (68)	167,3	S	Schwefel (16)	32,1
Eu	Europium (63)	152,0	Sb	Antimon (51)	121,8
F	Fluor (9)	19,0	Sc	Skandium (21)	45,0
Fe	Eisen (26)	55,9	Se	Selen (34)	79,0
Fr	Francium (87)	223,0	Si	Silizium (14)	28,1
Ga	Gallium (31)	69,7	Sm	Samarium (62)	150,4
Gd	Gadolinium (64)	157,3	Sn	Zinn (50)	118,7
Ge	Germanium (32)	72,6	Sr	Strontium (38)	87,6
H	Wasserstoff (1)	1,0	Ta	Tantal (73)	181,0
He	Helium (2)	4,0	Tb	Terbium (65)	158,9
Hf	Hafnium (72)	178,5	Te	Tellur (52)	127,6
Hg	Quecksilber (80)	200,6	Th	Thorium (90)	232,1
Ho	Holmium (67)	164,9	Ti	Titan (22)	47,9
In	Indium (49)	114,8	Tl	Thallium (81)	204,4
Ir	Iridium (77)	192,2	Tm	Thulium (69)	168,9
J	Jod (53)	126,9	U	Uran (92)	238,1
K	Kalium (19)	39,1	V	Vanadin (23)	51,0
Kr	Krypton (36)	83,8	W	Wolfram (74)	183,9
La	Lanthan (57)	138,9	Xe	Xenon (54)	131,3
Li	Lithium (3)	6,9	Y	Yttrium (39)	88,9
Lu	Lutetium (71)	175,0	Yb	Ytterbium (70)	173,0
Mg	Magnesium (12)	24,3	Zn	Zink (30)	65,4
Mn	Mangan (25)	54,9	Zr	Zirkonium (40)	91,2
Mo	Molybdän (42)	96,0			

hält. Im Jahre 1932 entdeckten amerikanische Forscher den schweren Wasserstoff, auch Deuterium genannt. Sein Kern besteht aus einem Proton und einem Neutron. Im gewöhnlichen Wasser ist Deuterium zu 0,015% vorhanden. Das ist etwa ein Tropfen in einem Liter Wasser. Ein drittes Isotop des Wasserstoffs, das Tritium, führt in seinem Kern neben einem Proton zwei Neutronen. Es ist äußerst selten und kommt nur in Spuren in der Atmosphäre vor. Viele natürliche Elemente setzen sich aus mehreren Isotopen zusammen. Chlor zum Beispiel besteht aus den beiden Isotopen 35 und 37, deren gegenseitiges Mengenverhältnis, unabhängig vom jeweiligen Vorkommen, 75,4 : 24,6 beträgt. Diese Tatsache erklärt auch das ungerade Atomgewicht von 35,457. Zinn ist ein Gemisch aus zehn Isotopen.

Das Gewicht eines Atoms wird im wesentlichen von der Anzahl der in seinem Kern enthaltenen Protonen und Neutronen bestimmt. Für chemische Berechnungen genügt es, wenn wir das *relative* Gewicht, bezogen auf das Gewicht des Sauerstoffatoms = 16, kennen. Die Atomgewichte sind neben dem Namen, der Ordnungszahl und dem Symbol der Elemente in der Tabelle (S. 87) verzeichnet. Das absolute Gewicht eines Atoms in Gramm erhält man durch Multiplikation des relativen Atomgewichts mit $1,65 \text{ Quadrillionstel}$ ($1,65 \cdot 10^{-24}$). Einige Rechenbeispiele werden später gegeben.

Nach dem BOHRschen Atommodell bewegen sich die Elektronen mit sehr großer Geschwindigkeit auf bestimmten Flächen, den sogenannten *Elektronenschalen* (Abb. 33). Jede dieser Schalen, die von innen nach außen mit den Buchstaben K, L, M, N, O, P und Q bezeichnet werden, kann nur eine begrenzte Zahl von Elektronen aufnehmen. Die Zahl der jeweils vorhandenen Schalen ist durch die Anzahl der einen Kern umkreisenden Elektronen bedingt. Beim Wasserstoff = H mit einem Elektron ist nur die innerste oder K-Schale ausgebildet. Da die K-Schale im Höchstfalle 2 Elektronen aufnimmt, ist sie bereits bei dem Element der Ordnungszahl 2 = Helium voll

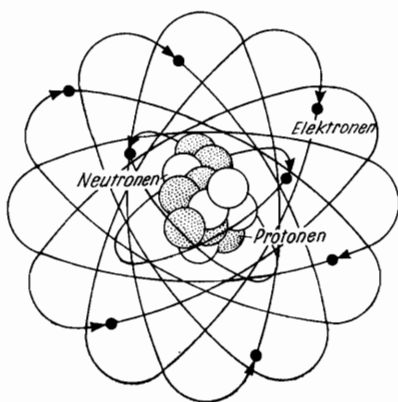


Abb. 33: Der Bau der Atome nach dem BOHRschen Modell

besetzt. Das Element mit der Ordnungszahl (= Protonen- und Elektronenzahl) 3 muß sein drittes Elektron auf einer zweiten Schale, der L-Schale, unterbringen. Diese Schale ist mit 8 Elektronen gesättigt.

Die möglichen Elektronenzahlen der einzelnen Schalen sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Besetzung der Elektronenschalen

Schale	Höchstzahl der Elektronen	
K	2	} Höchstzahl der in der äußersten Schale möglichen Elektronen = $2n^2$ (n = Anzahl der Schalen)
L	8	
M	18	
N	32	
O	32	
P	9	
Q	2	

Ein von RYDBERG gefundenes Gesetz, nach welchem die Höchstzahl der Elektronen in der äußeren Schale mathematisch zu finden ist, hat nur bis zur N-Schale Gültigkeit.

Von der Beschaffenheit der „Elektronenhülle“ hängt das chemische Verhalten eines Elements ab. Elemente, deren äußere Schale mit Elektronen gefüllt ist, sind sehr stabil. Die Edelgase Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon haben solche Außenhüllen, und man spricht von einer „Edelgaskonfiguration“. Die anderen Grundstoffe, deren äußere Schalen nur unvollständig mit Elektronen besetzt sind, haben das Bestreben, eben solche stabile Hüllen zu bilden. Sie gehen Verbindungen miteinander ein und geben dabei Elektronen ab oder nehmen Elektronen auf. Am Beispiel der Verbindung der beiden Elemente Natrium und Chlor, dem Steinsalz = NaCl, läßt sich das leicht und anschaulich erklären. Das Element Natrium = Na hat die Ordnungszahl 11, und es besitzt demzufolge auch 11 Elektronen, die sich auf die K-, L- und M-Schale verteilen. Die beiden ersten Schalen, die K- und L-Schale, sind mit 2 bzw. 8 Elektronen gesättigt, während sich auf der äußeren oder M-Schale nur ein einziges Elektron bewegt. Das Element Chlor andererseits besitzt die Ordnungszahl 17 und somit 17 Elektronen. Diese verteilen sich so, daß 2 auf der K-Schale, 8 auf der L-Schale und die restlichen 7 auf der M-Schale kreisen. Wenn nun das Natrium sein Elektron aus der M-Schale abgibt und das Chlor ein zusätzliches Elektron in die M-Schale aufnimmt, erhalten die beiden Elemente eine günstige Elektronenbesetzung. Somit liegt es nahe, daß diese Grundstoffe sich verbinden. Zwar kann die M-Schale maximal 18 Elektronen aufweisen, aus energetischen Gründen wird das jedoch erst möglich, wenn eine bestimmte Elektronenbahn der nächsten Schale aufgebaut ist. Mit 8 Elektronen, wie sie das Edelgas Argon besitzt, ist die M-Schale vorerst abgesättigt. Natrium ist ein metallisches Element, und Chlor befindet sich als Element gewöhnlich in gasförmigem Zustand. Ganz andere Eigenschaften

hat das uns allen bekannte Steinsalz als Verbindung dieser beiden Stoffe. Wir ersehen daraus, daß die chemischen Verbindungen völlig andere Merkmale als ihre Bestandteile aufweisen können.

Wenn ein Atom Elektronen aufnimmt oder abgibt, muß es seinen elektroneutralen Charakter verlieren. Aus dem Atom wird ein *Ion*, wie wir die elektrisch negativ oder positiv geladenen Bauteilchen der chemischen Verbindungen nennen. Durch Elektronenaufnahme erhalten wir ein negativ geladenes Gebilde, das Anion. Elektronenabgabe hat eine positive Überschußladung des Atomkerns zur Folge, wir sprechen dann vom Kation. Da manche Atomarten nicht nur ein, sondern mehrere Elektronen abzugeben bzw. aufzunehmen vermögen, wurde der Begriff der Wertigkeit eingeführt. Im Steinsalz sind beide Ionen einwertig: Das Natrium Na wurde zum einwertig positiven Natrium-Ion = Na^+ , das Chlor Cl zum Chlor-Anion Cl^- mit einer negativen Wertigkeit. Die Elemente verbinden sich immer so, daß von den verschiedenen Atomarten ebenso viele Elektronen abgegeben wie aufgenommen werden.

Außer dieser Ionenbindung gibt es noch andere Bindungszustände, auf die wir jedoch nicht näher eingehen können. Erwähnt werden soll nur die Atombindung, die bei solchen Kristallen eine Rolle spielt, welche sich nur aus gleichartigen Elementen zusammensetzen. Hierbei vereinigen sich die Atome in der Weise, daß die Elektronen gemeinsam die Kerne umlaufen. Eine solche gegenseitige Verflechtung von Elektronenhüllen kennen wir zum Beispiel beim Diamanten, dessen Gitter sich ausschließlich aus Kohlenstoffatomen aufbaut.

Einige Chemiker haben versucht, die Grundstoffe zu ordnen. Diese Bemühungen fanden durch die Aufstellung des Periodensystems der Elemente (siehe Tafel S. 94/95) im Jahr 1868 durch den russischen Gelehrten MENDELEJEFF und unabhängig davon durch LOTHAR MEYER einen Abschluß. Allerdings sah das Periodensystem, als es von MENDELEJEFF veröffentlicht wurde, noch etwas anders aus als in der heute üblichen Darstellung. Vor allem fehlten ihm mehrere Elemente, die erst in der darauffolgenden Zeit entdeckt wurden. MENDELEJEFF konnte aber auf Grund der Beziehungen, die in der periodischen Anordnung nach steigender Kernladungszahl zum Ausdruck kommen, die Eigenschaften damals noch unbekannter Elemente vorausbestimmen. Ein solches Element wurde von CLEMENS WINKLER, der als Professor für Chemie an der Bergakademie Freiberg wirkte, 1866 als Bestandteil eines Minerals nachgewiesen und Germanium genannt. Es war als „Eka-Silizium“ vorausgesagt worden, und seine Eigenschaften entsprachen den angekündigten Merkmalen. Mit der Entdeckung des Germaniums wurde gleichzeitig das Periodensystem in überzeugender Weise bestätigt.

Nach unseren modernen Vorstellungen spiegelt sich im Periodensystem der Elemente der Atombau wider. Bei der Ordnung der Elemente nach steigendem Atomgewicht stellte sich heraus, daß Grundstoffe, die ein ähnliches chemisches Verhalten aufweisen, jeweils 8 bzw. 18 oder 32 Stellen voneinander entfernt sind. Der Chemiker spricht vom Gesetz der Periodizität. Er

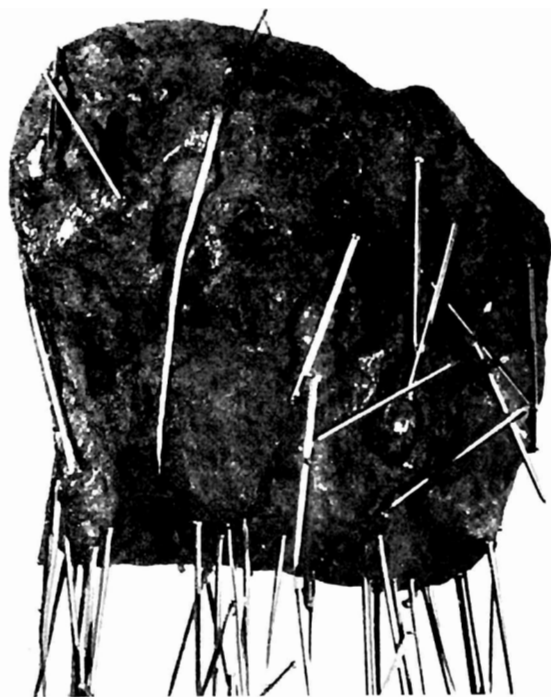


Abb. 32: Magneteisen (Magnetit) wirkt wie ein Magnet. Kleine Eisengegenstände werden von diesem Mineral angezogen.
(Aufnahme: B. M. SHAUB)

bezeichnet eine Folge von Elementen als *Periode*, wenn anschließend wieder ein Element erscheint, das dem ersten weitgehend ähnelt. Wir wissen heute, daß die Horizontalreihen oder Perioden der Elementanordnung nach MENDELEJEFF den äußeren Elektronenschalen K, L, M, N, O, P und Q (bzw. 1 bis 7) entsprechen. Greifen wir ein beliebiges Element, zum Beispiel Zinn = Sn, heraus, dann sagt uns seine Stellung im Periodensystem, daß es über fünf Elektronenschalen verfügt und daß sich seine äußeren Elektronen in der O-Schale befinden. Folgerichtig können in der ersten Periode, deren K-Schale nur bis zu zwei Elektronen aufnehmen kann, auch nur zwei Elemente, nämlich Wasserstoff und Helium, auftreten.

Die große Ähnlichkeit derjenigen Elemente, die im Periodensystem untereinanderstehen und zu einer *Gruppe* zusammengefaßt werden, erklärt sich aus der Tatsache, daß sie die gleiche Elektronenzahl in der äußeren Schale

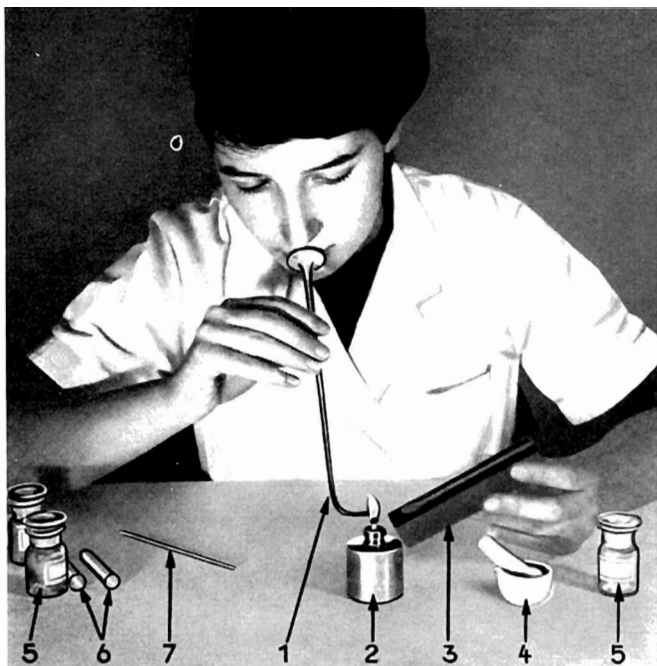


Abb. 37: Die Handhabung des Lötrohrs bei chemischen Prüfungen

1. Juwelierlötrohr, 2. Paraffinlampe, 3. Holzkohle mit Vertiefung für die Substanz, 4. Reibschale, 5. Chemikalien für verschiedene Reaktionen, 6. Glasröhrchen zum Erhitzen der Probe und 7. Magnesiastäbchen für die Anfertigung von Perlen und die Prüfung der Flammenfärbung (aus W.LIEBER 1963, Foto: Lieber)

besitzen. So haben außer Helium alle Edelgase – diese Elemente vermögen nur ausnahmsweise chemischen Verbindungen zu bilden – eine mit 8 Elektronen besetzte Außenschale. Die Edelgase bilden die Gruppe O des Periodensystems. In der Gruppe I stehen Elemente, deren äußerste Schale mit einem Elektron besetzt ist. Hier wird, ebenso wie in den anderen Gruppen, zwischen Haupt- und Nebengruppen unterschieden. In der ersten Hauptgruppe oder Alkaligruppe stehen die Elemente Lithium Li, Natrium Na, Kalium K, Rubidium Rb, Zäsium Cs und Francium Fr. Die erste Nebengruppe umfaßt die Elemente Kupfer Cu, Silber Ag und Gold Au. Diese Unterteilung erklärt sich ebenfalls aus der Elektronenanordnung:

Hauptgruppe I

Nebengruppe I

Zahl der Elektronen in der														
K-	L-	M-	N-	O-	P-	Q-		K-	L-	M-	N-	O-	P-Schale	
Li	2	1												
Na	2	8	1											
K	2	8	8	1				Cu	2	8	18	1		
Rb	2	8	18	8	1			Ag	2	8	18	18	1	
Cs	2	8	18	18	8	1		Au	2	8	18	32	18	1
Fr	2	8	18	32	18	8	1							

Während die vorletzte Schale in der Hauptgruppe nur bei den beiden ersten Elementen, Lithium und Natrium, voll mit Elektronen belegt ist, enthalten die Elemente Kalium, Rubidium und Zäsium in der M- bzw. N- bzw. O-Schale nur 8 Elektronen. Aus der Auffüllung dieser Schalen ergeben sich die drei Elemente der ersten Nebengruppe; bei diesen Elementen sind die entsprechenden Schalen mit jeweils 18 Elektronen besetzt.

Wir wollen hier nicht sämtliche Beziehungen erörtern, die im Periodensystem der Elemente zum Ausdruck kommen und die man in bestimmten Regeln zusammengefaßt hat. Unser Ziel bestand lediglich darin, einen Überblick über die chemischen Elemente zu geben.

Die Übersicht „Periodensystem der Elemente“ siehe Seiten 94 und 95.

Gruppen Perioden		I	II	III	IV	V
äußere Elektronen befinden sich in der: K-Schale	1	1. H Wasserstoff 1,0080				
L-Schale	2	3. Li Lithium 6,940	4. Be Beryllium 9,013	5. B Bor 10,82	6. C Kohlenstoff 12,010	7. N Stickstoff 14,008
M-Schale	3	11. Na Natrium 22,997	12. Mg Magnesium 24,32	13. Al Aluminium 26,97	14. Si Silizium 28,09	15. P Phosphor 30,98
N-Schale	4	19. K Kalium 39,096	20. Ca Kalzium 40,08	21. Sc Skandium 44,96	22. Ti Titan 47,90	23. V Vanadium 50,95
		29. Cu Kupfer 63,57	30. Zn Zink 65,38	31. Ga Gallium 69,72	32. Ge Germanium 72,60	33. As Arsen 74,91
O-Schale	5	37. Rb Rubidium 85,48	38. Sr Strontium 87,63	39. Y Yttrium 88,92	40. Zr Zirkonium 91,22	41. Nb Niob 92,91
		47. Ag Silber 107,880	48. Cd Kadmium 112,41	49. In Indium 114,76	50. Sn Zinn 118,70	51. Sb Antimon 121,76
P-Schale	6	55. Cs Cäsium 132,91	56. Ba Barium 137,36	57. La ¹⁾ Lanthan 138,92	72. Hf Hafnium 178,6	73. Ta Tantal 180,95
		79. Au Gold 197,0	80. Hg Quecksilber 200,61	81. Tl Thallium 204,39	82. Pb Blei 207,21	83. Bi Wismut 209,00
Q-Schale	7	87. Fr Francium 223	88. Ra Radium 226,05	89. Ac Aktinium 227	90. Th Thorium 232,12	91. Pa Protaktini- 231 um

¹⁾ Die Elemente 58 bis 71 bilden die seltenen Erden (Lanthanide)

der Elemente

VI	VII	VIII			O	Elektronen in den Schalen der Edelgase
					2. He Helium 4,003	2
8. O Sauerstoff 16,0000	9. F Fluor 19,00				10. Ne Neon 20,183	2, 8
16. S Schwefel 32,066	17. Cl Chlor 35,457				18. Ar Argon 39,944	2, 8, 8
24. Cr Chrom 52,01	25. Mn Mangan 54,93	26. Fe Eisen 55,85	27. Co Kobalt 58,94	28. Ni Nickel 58,69		
34. Se Selen 78,96	35. Br Brom 79,916				36. Kr Krypton 83,8	2, 8, 18, 8
42. Mo Molybdän 95,95	43. Tc Technetium 99	44. Ru Ruthenium 101,1	45. Rh Rhodium 102,91	46. Pd Palladium 106,7		
52. Te Tellur 127,61	53. J Jod 126,92				54. X Xenon 131,3	2, 8, 18, 18, 8
74. W Wolfram 183,92	75. Re Rhenium 186,31	76. Os Osmium 190,2	77. Ir Iridium 192,2	78. Pt Platin 195,23		
84. Po Polonium 210	85. At Astatin 211				86. Rn Radon 222	2, 8, 18, 32, 18, 8
92. U Uran 238,07						

Chemische Zusammensetzung der Erdkruste

In der aus Mineralen und Gesteinen zusammengesetzten festen Erdkruste sind die Elemente in sehr unterschiedlicher Menge vertreten. Die Verteilung der chemischen Grundstoffe wechselt von Gestein zu Gestein, aber da der Gesteinsaufbau der Kruste im großen und ganzen bekannt ist, läßt sich die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Erdkruste errechnen. 91 Elemente bauen die Erde auf – einige von ihnen wurden durch spektroskopische Untersuchungen der Gestirne auch im Kosmos nachgewiesen –, doch nur wenige bilden *wesentliche Bestandteile* der Gesteinsschale. Lediglich die acht in der Tabelle (Seite 96) aufgeführten Elemente sind mit mehr als *einem* Gewichtsprozent in der obersten 16 km tiefen Schicht vorhanden. Wenn wir uns den Aufbau der Kristalle aus kugelförmigen Atomsorten verdeutlichen, dann interessiert uns auch, welchen Raum die verschiedenen Grundstoffe einnehmen. Da der Atomradius der Elemente bekannt ist – er hängt von der Anzahl ihrer Elektronenschalen und deren Besetzung ab – lassen sich die Gewichtsprozent in Volumenprozent umrechnen. Das Ergebnis ist recht aufschlußreich (s. Tabelle Seite 96). Sauerstoff O nimmt 94,24% des gesamten Raumes der 16-km-Kruste ein. Berücksichtigen wir den großen Radius des Sauerstoffatoms von 1,40 Å und die im Vergleich dazu kleinen Radien der übrigen Elemente, z.B. Silizium Si = 0,39 Å, dann können wir die Erdkruste als eine Packung aus Sauerstoffkugeln betrachten, in deren Lücken sich die übrigen Elemente befinden. Die Tatsache, daß der Sauerstoff eine so überragende Rolle spielt, führte V.M. GOLDSCHMIDT dazu, von einer „Oxysphäre“ zu sprechen (nach lat. oxygenium = Sauerstoff; also Sauerstoffschale).

Die häufigsten Elemente der Erdkruste (aus Tom W.F. BARTH 1962)

Element (Ordnungszahl)	Symbol	Gewichts- %	Volumen- %
Sauerstoff (8)	O	46,71	94,24
Silizium (14)	Si	27,69	0,51
Aluminium (13)	Al	8,07	0,44
Eisen (26)	Fe	5,05	0,37
Kalzium (20)	Ca	3,65	1,04
Natrium (11)	Na	2,75	1,21
Kalium (19)	K	2,58	1,88
Magnesium (12)	Mg	2,08	0,28

Acht Elemente bilden 98,58 Gewichtsprozent bzw. 99,97 Volumenprozent. Das heißt: Alle übrigen Grundstoffe sind nur mit 1,42 Gewichtsprozent bzw. 0,03 Volumenprozent am Aufbau der 16-km-Kruste beteiligt. Eine sehr große Zahl chemischer Bestimmungen ermöglicht es, auch die durchschnittlichen Gehalte der seltenen Grundstoffe anzugeben (Tabelle Seite 97).

Element (Ordnungszahl)	Symbol	g/t	Die selteneren Elemente der Erdkruste (in Gramm pro Tonne)
Titan (22)	Ti	4400	10000 g/t entsprechen
Wasserstoff (1)	H	1300	1 Gewichtsprozent
Phosphor (15)	P	1180	
Mangan (25)	Mn	1000	
Fluor (9)	F	800	
Schwefel (16)	S	520	
Strontium (38)	Sr	450	
Barium (56)	Ba	400	
Kohlenstoff (6)	C	320	
Chlor (17)	Cl	200	
Chrom (24)	Cr	200	
Zirkon (40)	Zr	160	
Rubidium (37)	Rb	120	
Vanadin (23)	V	110	
Nickel (28)	Ni	80	
Zink (30)	Zn	65	
Stickstoff (7)	N	46	
Zer (58)	Ce	46	
Kupfer (29)	Cu	45	
Yttrium (39)	Y	40	
Lithium (3)	Li	30	
Neodym (60)	Nd	24	
Niob (41)	Nb	24	
Kobalt (27)	Co	23	
Lanthan (57)	La	18	
Blei (82)	Pb	15	
Gallium (31)	Ga	15	
Thorium (90)	Th	10	

Alle übrigen, in der Tabelle nicht aufgeführten Elemente beteiligen sich mit weniger als 10 g/t an der *durchschnittlichen* Zusammensetzung der Gesteinschale.

Die zugänglichen Teile der Erde enthalten die seltenen Grundstoffe nicht in gleichem Maße. Während Elemente wie Titan, Chlor, Phosphor, Mangan, Kohlenstoff und Schwefel noch relativ häufig vorkommen, treten andere, wie Molybdän, Quecksilber, Platin und Gold, stark zurück. Viele von diesen Grundstoffen werden in der Technik verwendet. Wir gewinnen die für unser Leben erforderlichen Elemente aus der 16-km-Kruste, die nur 0,4% der gesamten Erdmasse ausmacht und die wie eine dünne Schlackenhaut die tiefer liegenden Erdschalen überzieht.

Durch die nachstehende Abbildung wird graphisch dargestellt, in welchem Umfang sich die häufigsten Elemente am Aufbau der Erdkruste beteiligen (Abb. 34).

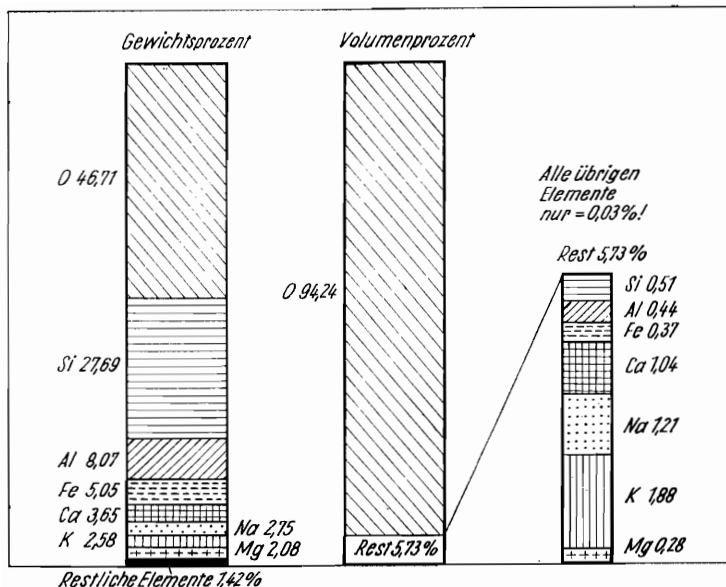


Abb. 34: Die Beteiligung der häufigsten Elemente an der Zusammensetzung der Erdkruste in Gewichtsprozenten (links) und in Volumenprozenten (rechts)

Chemische Zusammensetzung der Minerale

Mit Ausnahme einiger Edelgase können wir alle natürlichen Elemente als Bestandteile der Minerale nachweisen. Etwa 20 chemische Grundstoffe kommen in freiem Zustand als Minerale vor: Kohlenstoff, Schwefel, Selen, Tellur, Arsen, Antimon, Wismut, Quecksilber, Kupfer, Silber, Gold, Blei, Eisen, Nickel, Platin, Paladium, Iridium, Osmium, Tantal und Zinn. Der Mineraloge nennt sie „gediegen“ Schwefel, Gold, Silber usw. und unterscheidet sie von den in wesentlich größerer Zahl auftretenden *chemischen Verbindungen*. Die Verbindungen bestehen aus zwei oder mehreren Elementen. Die Symbole dieser Elemente und ihr Mengenverhältnis bilden die *chemische Formel* eines Minerals. Da jedes Mineral eine natürliche Substanz mit mehr oder weniger feststehender Zusammensetzung darstellt, gehört zu jedem Mineralnamen eine solche Mineralformel. Wir finden die chemischen Formeln im Bestimmungsteil, und um sie „lesbar“ zu machen, haben wir die in der Tabelle S. 87 zusammengefaßten chemischen Elemente alphabetisch nach dem Symbol geordnet. Wer also die Symbole einer Formel nicht deuten kann, findet die Namen der entsprechenden Elemente anhand dieser Tabelle. Aus der Formel SiO_2 ergibt sich zum Beispiel, daß das Mineral aus einem

Teil *Silizium* und zwei Teilen *Sauerstoff* zusammengesetzt ist. Die Mineralformeln wurden gewonnen, indem man die Substanz in ihre Grundstoffe zerlegte und deren Mengenanteil bestimmte. Ein einfaches Beispiel soll das erläutern. Die chemische Analyse ergab, daß ein Mineral aus den drei Elementen Eisen Fe, Arsen As und Schwefel S zusammengesetzt ist. Die gefundenen Gewichtsprozente teilt man durch das entsprechende Atomgewicht und erhält so die Atomquotienten. Deren Verhältnis entspricht dem Mengenverhältnis der Grundstoffe im Mineral.

Rechenbeispiel:

Bestandteile		Gewichtsprozente	Atomgewicht	Atomquotient	Verhältnis
Eisen	Fe	34,3	55,85	0,614	1
Arsen	As	46,0	74,91	0,614	1
Schwefel	S	19,7	32,066	0,615	1

Die Mineralformel lautet demnach: FeAsS (Arsen kies).

Umgekehrt kann man auch aus der Formel den Gehalt eines Elements errechnen. Wollen wir wissen, wie hoch der Bleigehalt des Wulfenits mit der chemischen Formel PbMoO₄ ist, dann gehen wir folgendermaßen vor: Wir suchen zuerst in der Tabelle auf Seite 87 die Atomgewichte und schreiben sie zu den Elementen. Dann wird das Formelgewicht durch Addition der Atomgewichte errechnet. Durch einfache Verhältnisbildung finden wir anschließend den gesuchten Wert.

Rechenbeispiel: Wulfenit PbMoO₄

Blei Pb	$207,21 \times 1 = 207,21$	$x : 100 = 207,21 : 367,16$ $x = \frac{207,21 \cdot 100}{367,16}$ $x = 56,44\% \text{ Bleigehalt}$
Molybdän Mo	$95,95 \times 1 = 95,95$	
Sauerstoff O	$16,00 \times 4 = 64,00$	
Summe = Formelgewicht	<u>367,16</u>	

Nach diesem Vorgang lassen sich die Elementgehalte aller Verbindungen berechnen.

Die seltenen Elemente verstecken sich oft im Gitter von Verbindungen, die sich aus den verbreiteten Grundstoffen zusammensetzen. Manche Elemente sind überhaupt nur in geringen Spuren in verschiedenen Mineralen enthalten, ohne eigene Verbindungen zu bilden. Das gilt für *Hafnium*, von dem wir kein selbständiges Mineral kennen. Hafnium ist aber allen Zirkoniummineralen in mehr oder weniger großen Anteilen beigemischt und tritt dort an die Stelle von Zirkonium. Von *Indium* und *Gallium* ist jeweils nur ein einziges Mineral bekannt. Auch diese Elemente „tarnen“ sich meist, indem sie anderen Mineralen in geringen Konzentrationen – als Spurenelemente –

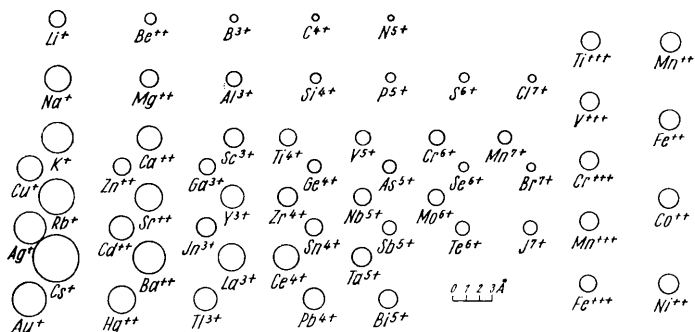


Abb. 35: Die Größe der Kationen (aus NIGGLI 1945)

beigemengt sind. Ähnlich ist es bei *Germanium*, das nur wenige ausgesprochene Germaniumminerale bildet, jedoch in fast allen Silikaten in winzigen Mengen anstatt Silizium auftritt.

Chemische Elemente können sich im Kristallgitter nur dann gegenseitig ersetzen, wenn ihr Ionen- bzw. Atomradius annähernd gleich groß ist. Die Ionenradien der sich vertretenden Elemente dürfen in der Regel nicht mehr als 15% voneinander abweichen. Sehr ähnliche Größe haben z.B. die Elemente Kalzium und Strontium mit einem Ionenradius von etwa 1,40 Å.

Wenn bei der Mineralbildung reichlich Kalzium und sehr wenig Strontium zugegen ist, dann entstehen keine Strontiumminerale, sondern im Gitter eines Kalziumminerals werden einige Ca-Positionen mit Strontium besetzt. Solche Nebenelemente sind in fast allen Mineralen mit Beträgen < 1% vorhanden. In der Formel berücksichtigt man die „Spurenelemente“ nicht. Damit wir uns die gegenseitige Vertretbarkeit der Ionen im Gitter vorstellen können, sind in der Abbildung 35 die Größen der Kationen dargestellt.

Die beiden rechten Reihen zeigen die Größe von Kationen, die im linken Teil mit anderen Wertigkeitsstufen vertreten sind (Ti, V, Cr und Mn). Damit wird noch einmal verdeutlicht, daß der Raumbedarf eines Ions von der Wertigkeit abhängt. Zum anderen ist hier die Größe der Kationen des Eisens, Kobalts und Nickels abgebildet. Alle genannten Elemente können sich, wie man schon beim ersten Blick sieht, mit den in diesen beiden Reihen angegebenen Wertigkeitsstufen gegenseitig ersetzen.

Wir haben uns mit der Tatsache befaßt, daß bestimmte Elemente im Gitter der Minerale „versteckt“ sind. An der Schreibweise der chemischen Formel ändert das nichts. Anders ist das, wenn sogenannte *Mischkristalle* vorliegen. Die einfachste Art der Mischkristallbildung besteht darin, daß einige Bausteine des Kristalls A durch die gleiche Zahl von Bausteinen des Kristalls B ersetzt werden. Die Minerale A und B sind die Endglieder einer Mischkristallreihe.

Dazu folgendes Beispiel:

Mineral A	←————— Mischkristalle —————→	Mineral B
Forsterit Mg_2SiO_4 $\text{Mg}^{2+} = 0,66 \text{ \AA}$	Olivinreihe mehr Mg ← $(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_4$ → mehr Fe	Fayalit Fe_2SiO_4 $\text{Fe}^{2+} = 0,74 \text{ \AA}$

Im Gitter dieser Mineralgruppe sind die Magnesiumionen Mg^{2+} und Eisenionen Fe^{2+} austauschbar, ihr Mengenanteil kann in weiten Grenzen schwanken, und ein bestimmter Gitterpunkt wird entweder von Magnesium oder von Eisen besetzt sein. Sowohl Magnesium als auch Eisen sind im Olivin Hauptelemente. Da sie gleiche Gitterplätze einnehmen können, schreiben wir beide in eine runde Klammer und trennen sie durch ein Komma: $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$.

Wenn die reinen Endglieder in jedem Verhältnis mischbar sind, dann sprechen wir von lückenloser Mischbarkeit. Kann dagegen ein Mineral ein anderes nur bis zu einem gewissen Betrag aufnehmen, dann fehlen bestimmte Zusammensetzungen, es treten „Mischungslücken“ auf. Viele Minerale, besonders die bei höheren Temperaturen kristallisierten, bilden solche Mischkristalle. Beim Plagioklas besteht lückenlose Mischbarkeit zwischen den Endgliedern *Albit* und *Anorthit*. Da jedoch die austauschbaren Ionen Na^+ und Ca^{2+} nicht die gleiche Wertigkeit besitzen, muß gleichzeitig, um Ladungsausgleich herzustellen, Si^{4+} gegen Al^{3+} ausgetauscht werden:

Mineral A	←————— Mischkristalle —————→	Mineral B
Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Plagioklasreihe $(\text{Na, Ca}) \text{Al}(\text{Si, Al})_3\text{O}_8$ mehr Na + Si ← → mehr Ca + Al	Anorthit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Na^+ und Si^{4+} werden durch Ca^{2+} und Al^{3+} ersetzt.

Innerhalb einer Mischkristallreihe werden häufig mehrere Arten unterschieden. Die Glieder der Plagioklasreihe sind:

mit	0 bis 10% Anorthitkomponente	Albit
10	30	Oligoklas
30	50	Andesin
50	70	Labrador
70	90	Bytownit
90	100	Anorthit

In einer Mischkristallreihe ändern sich mit der chemischen Zusammensetzung die physikalischen Eigenschaften (Dichte, Lichtbrechung u. a.) und die Gitterabmessungen. Aus physikalischen oder röntgenographischen

Meßdaten, nicht durch die zeitraubende chemische Analyse, wird der Chemismus eines vorliegenden Gliedes erkannt.

Viele der in den Gesteinen enthaltenen Minerale stellen komplizierte Mischkristalle dar. Ihre Formeln sind beängstigende Gebilde! Wenn wir indessen davon ausgehen, daß die in einer runden Klammer zusammengefaßten und durch ein Komma getrennten Elemente sich an ein und demselben Gitterplatz gegenseitig ersetzen können, dann werden uns Formeln wie die für Turmalin, ein Borsilikat, $(\text{OH}, \text{F})_4(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mn})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Ti}, \text{V})_9[\text{B}_3\text{O}_9][\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ nicht unverständlich sein. Der Mineraloge bedient sich in solchen Fällen gern einer vereinfachten Schreibweise, indem er die Elemente mit ähnlichem Ionenradius, die die gleichen Gitterplätze einnehmen können, mit den allgemeinen Symbolen X, Y und Z bezeichnet.

Chemische Einteilung der Minerale

In den Mineralogiebüchern werden die Minerale zumeist auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung in neun große Gruppen eingeteilt. In der ersten Gruppe faßt man die Elemente zusammen und in den folgenden acht Gruppen jeweils die Minerale, die dem gleichen Typ chemischer Verbindung angehören. Die weitere Untergliederung berücksichtigt neben den Anionen vor allem die Struktur.

1. *Gediegene Elemente, feste Lösungen und „intermetallische Verbindungen“.* Hier läßt sich weiter unterteilen in *Metalle* (Gold, Silber, Kupfer, Platin, Eisen, Quecksilber) und *Nichtmetalle* (Graphit, Diamant, Schwefel). Feste Lösungen bilden u. a. Gold und Silber = Elektrum (Au, Ag) sowie Platin und Palladium (Pt, Pd). Während deren chemische Zusammensetzung schwankt, ist die der intermetallischen Verbindungen konstant; Stibiopalladinit z. B. hat die Formel Pd_3Sb . Mengenmäßig beteiligen sich die gediegenen Elemente mit weniger als 0,1% am Aufbau der Erdkrinde, ihr Anteil ist also sehr gering. Sie sind zum Teil wirtschaftlich sehr wertvoll, besonders Gold und Diamant. Wir haben nur die wichtigsten angeführt.

2. *Sulfide und verwandte Verbindungen.* Diese meist metallisch glänzenden Verbindungen, unter denen sich die wichtigsten Erze befinden, lassen sich von den Säuren H_2S , H_2Se , H_2Te usw. ableiten. An die Stelle des Wasserstoffs treten Metalle oder Halbmetalle, von denen etwa 20 in dieser Verbindungsform häufig angetroffen werden. Gewöhnlich trennt man zwischen „einfachen Sulfiden“ und „Sulfosalzen“. Die Sulfosalze werden bisweilen als „Doppelsulfide“ bezeichnet (und geschrieben). Man leitet sie von hypothetischen „Sulfosäuren“ ab, bei denen Sauerstoff durch Schwefel ersetzt ist: z. B. $\text{H}_3\text{AsO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsS}_3$. Wir erkennen sie an der etwas komplizierteren Zusammensetzung, die sich in ihrer Formel ausdrückt.

Sulfide und verwandte Verbindungen haben zum Teil erhebliche wirtschaftliche Bedeutung als Elementrohstoffe. Quantitativ sind sie am Aufbau der Erdkruste mit etwa 0,15% nur minimal beteiligt (Angabe nach V.I. VERNADSKIJ).

Formelbeispiele:

Sulfide

PbS (Bleiglanz, Galenit)
FeS₂ (Pyrit, Schwefelkies)
MoS₂ (Molybdänglanz, Molybdänit)
(Zn, Fe)S (Zinkblende, Sphalerit)

Sulfosalze

CuFeS₂ (Chalkopyrit, Kupferkies)
Cu₅FeS₄ (Buntkupferkies, Bornit)
Ag₃SbS₃ (Pyrargyrit, dunkles
↓ Rotgültigerz);
als Doppelsulfid
3 Ag₂S · Sb₂S₃ geschrieben

3. *Halogenide oder Haloidverbindungen.* Diese zumeist nichtmetallischen Minerale sind die Fluor-, Chlor-, Brom- und Jodverbindungen der Elemente, die auch als Salze der entsprechenden Säuren HF, HCl usw. aufgefaßt werden können. Zu ihnen stellt man chemisch ähnliche wasserhaltige Salze und sogenannte Doppel- und Oxyhalogenide. In der Natur herrschen Alkali- und Erdalkalihalogene vor, während sich entsprechende Schwermetallverbindungen nur unter ganz bestimmten Umständen bilden. Einige Minerale dieser Gruppe haben große wirtschaftliche Bedeutung, denken wir nur an Steinsalz und die Kalisalze.

Formelbeispiele:

Einfache Chloride

NaCl (Steinsalz, Halit)
KCl (Sylvin)
CaF₂ (Fluorit, Flußspat)

Doppelhalogenide

Na₃AlF₆ (Kryolith)
KMgCl₃ · 6H₂O (Carnallit)

Oxyhalogenide

CuCl₂ · 3 Cu(OH)₂ (Atakamit)

4. *Oxide und Hydroxide.* So bezeichnen wir einfache Verbindungen der Metalle und Nichtmetalle mit Sauerstoff oder Hydroxylgruppen (OH)⁻. Die Erdkruste enthält reichlich Sauerstoff, und es ist deshalb nicht verwunderlich, daß sie mengenmäßig zu etwa 17% aus Mineralen dieser Art besteht. Das häufigste Oxid (12,6%) ist der Quarz, den wir in vielen Gesteinen als Hauptbestandteil antreffen. Etwa 40 Elemente kommen in der Natur als Oxide oder Hydroxide vor. Wichtige Rohstoffe für die Eisen-, Chrom-, Aluminium- und Zinnengewinnung zählen zu ihnen.

Formelbeispiele:

Oxide

SiO₂ (Quarz und mit anderem Gitter: Tridymit, Cristobalit)
Al₂O₃ (Korund)
Fe₂O₃ (Hämatit, Eisenglanz)
SnO₂ (Zinnstein, Kassiterit)
Fe₃O₄ (Magnetit)
(Fe, Mg)(Cr, Al)₂O₄ (Chromit, Chromeisenerz)

Hydroxide

$\text{Al}(\text{OH})_3$ (Gibbsit, Hydrargillit)

FeOOH (Goethit, Nadeleisenerz)

5. *Nitrate, Karbonate und Borate* bilden die erste Gruppe der zahlreichen „Sauerstoffsalze“. Diese Verbindungen werden nach den Säureradikalen bzw. Anionenkomplexen zusammengefaßt, wobei die Einteilung nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen kann und deshalb nicht einheitlich gehandhabt wird. Manche Autoren stellen alle Sauerstoffsalze in eine Abteilung und unterscheiden insgesamt acht Klassen: Nitrate/Karbonate/Sulfate/Chromate/Molybdate und Wolframate/Phosphate, Arsenate und Vanadate/Borate/Silikate.

Nitrate sind leichtlösliche Salze, deren Anionenkomplex $[\text{NO}_3]^-$ mit den Kationen der Alkalien Natrium und Kalium am häufigsten gekoppelt ist. Das Mineral Natron- oder Chilesalpeter wird praktisch als Stickstoffdünger verwertet. Ebenso wie die Kupfernitratre und die selteneren und etwas komplizierteren Erdalkalinitrate mit Magnesium, Kalzium und Barium als Kation ist Natronsalpeter nur in trockenen, heißen Klimagebieten beständig.

Von den *Karbonaten* mit dem Anionenkomplex $[\text{CO}_3]^{2-}$ ist das Kalziumkarbonat am wichtigsten. Es bildet ganze Gesteinsschichten. Als mineralische Rohstoffe haben neben Kalziumkarbonat das Magnesium- und das Eisenkarbonat wirtschaftliche Bedeutung.

Verhältnismäßig gering ist die Zahl der Minerale, die als Salze von Borsäuren betrachtet werden können. Solche wasserfreien und wasserhaltigen *Borate* schlagen sich größtenteils aus Boraxseen nieder.

Formelbeispiele:

Nitrate

NaNO_3 (Natronsalpeter, Chilesalpeter, Nitronatrit)

KNO_3 (Kalisalpeter, Nitrokalit)

Karbonate

CaCO_3 (Kalkspat, Kalzit; mit anderem Gitter: Aragonit)

FeCO_3 (Siderit, Eisenspat)

$\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ (Dolomit)

Borate

$\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_5] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Ascharit)

$\text{Mg}_3[\text{Cl}/\text{B}_7\text{O}_{13}]$ (Borazit)

$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Ulexit)

6. *Sulfate und verwandte Verbindungen.* Sulfatminerale sind weit verbreitet, jedoch haben nur wenige dieser Salze eine praktische Bedeutung. Wir unterscheiden zwischen wasserfreien und wasserhaltigen Sulfaten, denen jeweils eine Untergruppe mit „fremden Anionen“ angeschlossen ist. Alle Sulfate haben nichtmetallischen Charakter; zum Teil sind sie wasserlöslich und deshalb wenig beständig. Wegen ähnlicher äußerer Eigenschaften

und eines gleichartigen kristallchemischen Bautyps stellt man die Chromate, Molybdate und Wolframate als verwandte Verbindungen in die gleiche Mineralgruppe.

Formelbeispiele:

Wasserfreie Sulfate

CaSO_4 (Anhydrit)

BaSO_4 (Baryt, Schwespat)

SrSO_4 (Zölestin)

mit fremden Anionen

$\text{Cu}_4[(\text{OH})_6/\text{SO}_4]$ (Brochantit)

Wasserhaltige Sulfate

$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Kieserit)

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Gips)

mit fremden Anionen

$\text{KMg}[\text{Cl}/\text{SO}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Kainit)

Chromate

PbCrO_4 (Krokoit, Rotbleierz)

Wolframate

$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ (Wolframit)

CaWO_4 (Scheelit)

Molybdate

PbMoO_4 (Wulfenit, Gelbbleierz)

7. Phosphate und verwandte Verbindungen. Neben den wasserfreien und wasserhaltigen Salzen der Phosphorsäure mit dem Anionenkomplex $[\text{PO}_4]^{3-}$ werden hier die Arsenate und Vanadate wegen ihrer engen kristallchemischen Verwandtschaft eingereiht. Ebenso wie die Sulfate tragen alle diese Salze nichtmetallischen Charakter. Ihre Zahl ist ziemlich groß, doch können nur wenige als verbreitete oder häufige Minerale bezeichnet werden. Die Mehrzahl dieser Verbindungen sind Seltenheiten, die auch der Mineraloge kaum zu Gesicht bekommt.

Formelbeispiele:

Phosphate

CePO_4 (Monazit)

mit fremden Anionen

$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_2[\text{OH}/\text{PO}_4]_2$ (Lazulith)

$\text{Ca}_5[(\text{F}, \text{Cl})/(\text{PO}_4)_3]$ (Apatit)

Wasserhaltige Phosphate bzw. Arsenate und Vanadate

$\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Vivianit, Blau eisenerz)

$\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Nickelblüte, Annabergit)

$(\text{K}_2[(\text{UO}_2)_2/\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ (Carnotit)

8. Silikate. Diese Gruppe von Verbindungen umfaßt die größte Anzahl von Mineralen und bildet die wichtigsten Gemengteile der Gesteine. Fast alle Silikate sehen ausgesprochen nichtmetallisch aus und erweisen sich als ziemlich hart. Unter ihnen gibt es komplizierte Mischkristalle, deren genaue Zusammensetzung durch optische Untersuchungen zu finden ist. Während die artenreiche Gruppe der Silikate früher auf verschiedene Kieselsäuren bezogen wurde, als deren Salze man sie betrachtete, gründet sich

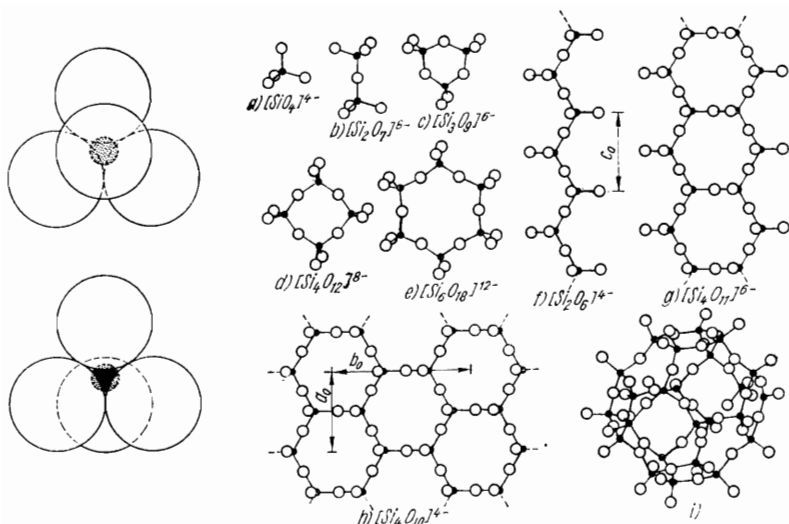


Abb. 36: (links) räumliche Darstellung eines $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeders und (rechts) verschiedene Bauverbände, die sich aus der Verknüpfung solcher Tetraeder ergeben

die moderne Systematik auf den Gitterbau. Nicht zuletzt widmet man der Struktur der Silikate deshalb so große Aufmerksamkeit, weil sie quantitativ mit etwa 80% an der Zusammensetzung der zugänglichen Erdkruste beteiligt sind.

Grundbaustein der Silikate ist das $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder (Abb. 36). Ein zentrales Siliziumkation wird von vier Sauerstoffanionen im gleichen Abstand umgeben. Minerale, in deren Feinbau selbständige $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Gruppen auftreten, heißen „Inseltetraedersilikate“. Die vier negativen Wertigkeiten des $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeders werden durch den Einbau von Kationen ausgeglichen. Weitaus häufiger sind solche Silikate, in deren Struktur sich die $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder zu ganzen Bauverbänden zusammenschließen. Wir kennen Silikate, in denen nur zwei $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Gruppen miteinander verbunden sind, aber auch ring-, ketten- und schichtgitterartige Bauformen und räumliche Netze aus SiO_4 -Tetraedern (Abb. 36). Nicht selten drückt sich der Feinbau der Silikate in der äußeren Form aus. Die zu den Schichtsilikaten gehörenden Minerale sind meist blättchenförmig entwickelt und gut spaltbar.

Die negativen Valenzen der Silikatgerüste werden durch Kationeneinbau in Gitterlücken abgesättigt. Da die Ionen in den zumeist komplizierten Bauverbänden auf vielfältige Weise angeordnet sein können und da es sowohl Silizium als auch Sauerstoff reichlich gibt, verwundert es nicht, daß etwa ein Viertel aller Minerale, welche die uns bekannte feste Erdkruste

bilden, Silikate sind. Davon haben aber nur relativ wenige als vorherrschende Bestandteile eine weite Verbreitung.

Formelbeispiele:

Strukturgruppe	$[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Bauverband	Beispiel
Inseltetraederstrukturen	$[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Gruppen	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ (Olivin)
Gruppenstrukturen	$[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ -Gruppen	$(\text{Sc}, \text{Y})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$ (Thortveitit)
Ringstrukturen	SiO_4 -Tetraeder sind zu 3,4,6 · $[\text{SiO}_3]^{2-}$ zusammengefaßt	$\text{BaTi}[\text{Si}_3\text{O}_9]$ (Benitoit)
Ketten- und Bandstrukturen	$[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$ -Ketten bzw. $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ -Bänder	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (Diopsid)
Blattstrukturen	$[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ -Netze	$\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ (Muskovit)
Gerüststrukturen	SiO_4 -Tetraeder in räumlichen Netzen von $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4^{3-}$ bis $4-$	KAlSi_3O_8 (Kalifeldspat)

Aus verständlichen Gründen wurden in diese Übersicht nur sehr einfach zusammengesetzte Minerale aufgenommen. Oft wird man ein modernes Mineralogiebuch zu Rate ziehen müssen, wenn man ein komplizierter zusammengesetztes Silikat einer dieser Strukturgruppen zuordnen möchte.

9. Organische Verbindungen. In diese Gruppe hat man früher viele Substanzen gestellt, die als schlecht gekennzeichnete Gemenge gelten müssen und auf die deshalb die Bezeichnung „Mineral“ nicht zutrifft. Heute ordnet man ihr nur noch Salze organischer Säuren zu. Deren Zahl ist so gering, daß die organischen Verbindungen oft nur anhangsweise behandelt oder überhaupt weggelassen werden. Wir haben es mit Salzen der Mellitsäure $\text{H}_6\text{C}_{12}\text{O}_{12}$ und der Oxalsäure $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ zu tun.

Solche Verbindungen kommen meist in der Braun- oder Steinkohle vor.

Die wichtigsten sind:

$\text{Al}_2[\text{C}_{12}\text{O}_{12}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ Mellit (Honigstein)
 $\text{Fe}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Oxalit (Humboldtin) und
 $\text{Ca}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ Whewellit

Die kurzen Ausführungen zur chemischen Einteilung der Minerale waren erforderlich, da die Minerale in den Sammlungen vorwiegend nach kristallchemischen Gesichtspunkten angeordnet sind. Auch der Mineralliebhaber wird bestrebt sein, eine gewisse Ordnung in das von ihm zusammengetragene oder durch Tausch erworbene Material zu bringen. An Hand der chemischen Formeln im Bestimmungsteil und der knappen Hinweise wird er die Minerale in die richtige Gruppe eingliedern können.

Wir wollen zuletzt noch eine Übersicht über die Verteilung der Minerale auf die einzelnen chemischen Gruppen geben. Von den 1725 Mineralen

(STRUNZ 1966) sind aber nur wenige verbreitet oder von Bedeutung; auf sie beschränken sich die Bestimmungsdaten im zweiten Teil des Buches.

Chemische Gruppe	Anzahl der Minerale nach Strunz (1966)	Anteil in %
1. Elemente und verwandte Minerale	29	1,7
2. Sulfide und verwandte Verbindungen	254	14,7
3. Halogenide	87	5,0
4. Oxide und Hydroxide	233	13,5
5. Nitrate, Karbonate, Borate	165	9,6
6. Sulfate und verwandte Verbindungen	185	10,7
7. Phosphate und verwandte Verbindungen	308	17,9
8. Silikate	438	25,4
9. Organische Verbindungen	26	1,5

Einfache chemische Bestimmungen

Im Vergleich zur Feststellung der äußeren Kennzeichen – Kristallform, Glanz, Farbe, Strich, Durchsichtigkeit, Härte u. a. – bereitet die chemische Untersuchung der Minerale ziemlich große Schwierigkeiten. Eine chemische Analyse erfordert neben einer gründlichen Ausbildung auf dem Gebiet der Chemie viel Sorgfalt. Zu ihrer Durchführung sind zahlreiche Geräte und Chemikalien notwendig. Von quantitativen Analysen ganz abgesehen, verlangen bereits qualitative Bestimmungen, wie z. B. auf Grund mikrochemischer Nachweisreaktionen oder an Hand der Tüpfelmethode, tiefreichende Kenntnisse; auch muß man sich erst längere Zeit einarbeiten, ehe man praktische Sicherheit erreicht.

Jedoch gibt es ein Verfahren, das speziell für die chemische Untersuchung von Mineralen ausgearbeitet wurde und sich auch heute noch bewährt, die *Lötrohrprobierkunde*. Diese Art der qualitativen chemischen Analyse, die dem Mineralsammler einfache Bestimmungen ermöglicht, hat sich besonders im 19. Jahrhundert entwickelt. Wer zu dieser Zeit als Geologe oder Bergmann in noch wenig erforschtem Gelände nach Erzlagerstätten suchte, mußte mit der Lötrohrprobierkunde vertraut sein. Inzwischen haben sich die Methoden der Mineralbestimmung verfeinert; das schließt jedoch nicht aus, eine so bewährte und einfache Methode, die mit wenigen Instrumenten und Reagenzien auskommt, noch heute anzuwenden. Natürlich muß man sich mit dieser speziellen Untersuchungstechnik vertraut machen, wenn man sie erfolgreich anwenden will. Lötrohranalysen empfehlen sich dann, wenn die Bestimmung eines Minerals ausschließlich nach äußeren Kennzeichen zu keinem Ergebnis führt oder wenn zwischen ähnlichen Mineralen unterschieden werden soll.

Für Lötrohruntersuchungen werden als Arbeitsmittel gebraucht:

ein *Lötrohr*, am besten die Freiburger Ausführung, notfalls ein einfaches Juwelierlötrohr;

eine *Lötrohrlampe*, d. h. eine dosenförmige Paraffinlampe mit einem breiten Docht, als Ersatz genügt eine Kerze oder ein Bunsenbrenner;

eine *Spirituslampe*, wie sie für Laborzwecke gebräuchlich ist;

mehrere *Pinzetten*, darunter nach Möglichkeit eine Nickelschnabelpinzette;

eine *Flachzange* oder ein *kleiner Hammer und Amboß* zum Zerkleinern der Mineralprobe;

eine kleine *Reibschale* und ein *Pistill* zum Pulverisieren und Mischen;

ein kleines Stück *Silberblech* und ein Stück *Kobaltglas*;

Holzkohle mit einer ebenen, angeschliffenen Fläche und etwas Sandpapier zum Nachschleifen;

Glaskölbchen von etwa 70 mm Länge und etwa 8 mm Breite;

einseitig geschlossene Glasröhrchen von 70 bis 80 mm Länge und 4 bis 5 mm Durchmesser;

offene Glasröhrchen von 100 bis 200 mm Länge und 6 bis 8 mm Durchmesser;

Magnesiastäbchen von 120 mm Länge und 2 mm Durchmesser.

Als Reagenzien sind erforderlich:

Soda Na_2CO_3

Neutrales Kaliumoxalat $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$

Borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Phosphorsalz $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Kaliumhydrogensulfat KHSO_4

Kaliumnitrat KNO_3

Kobaltnitrat $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in wäßriger Lösung (Kobaltlösung)

Kaliumjodid KJ und gepulverter *Schwefel* S , im Verhältnis 1 : 1 vermengt

Magnesium Mg als dünner Draht oder pulverförmig

Natriumhydroxid NaOH

Kupferoxid CuO

Zinnchlorid SnCl_2

Zinkgranulat Zn

Salzsäure (ätzend!) HCl , konzentriert und verdünnt

Schwefelsäure H_2SO_4 , konzentriert und verdünnt

Salpetersäure HNO_3

Methanol CH_3OH .

Nachdem wir uns diese Hilfsmittel und Chemikalien soweit wie möglich beschafft haben, beginnen wir damit, die *Arbeitstechnik* zu erlernen. Auch wenn nicht alle Chemikalien sogleich greifbar sind, läßt sich die eine oder andere Nachweisreaktion durchführen. Die einfachsten Elementnachweise

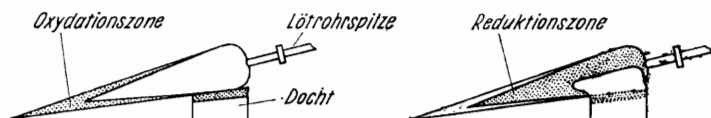
haben wir auf den Seiten 112 bis 116 beschrieben, und man ersieht aus der Zusammenstellung auch, welche Hilfsmittel jeweils vorhanden sein müssen. Zuerst übe man sich darin, ununterbrochen zu blasen. Das Lötrohr wird nur mit einer Hand gehalten und leicht gegen den Mund gedrückt. Man atmet gleichmäßig und ruhig durch die Nase ein und aus, und der Luftvorrat im Mund wird ständig aufgefüllt. Die Untersuchungen erfolgen entweder mit der Oxydations- oder mit der Reduktionsflamme. Wenn man eine oxydierende Wirkung erreichen will, so hält man beim Blasen die Lötrohrspitze in den nichtleuchtenden Teil der Flamme. Die Flamme bildet dann einen langen, blauen, von einem schwach leuchtenden Saum umgebenen Kegel (s. Abb. 38). Mit der schwach leuchtenden Zone der Flamme, die 2 bis 4 mm entfernt von der Spitze am heißesten ist, wird die Probe berührt. Soll eine reduzierende Wirkung erzielt werden, dann halten wir das Lötrohr an den Rand der Flamme und lenken sie mit dem Luftstrom in mehr oder weniger horizontale Richtung. Die Substanz wird in diesen leuchtend gelben Kegel hineingehalten, in dem glühende Kohleteilchen vorhanden sind und eine reduzierende Wirkung ausüben. Eine gute Reduktionsflamme ist nicht leicht zu erzeugen (s. Abb. 38).

Mit einem kleinen Splitter Braunit = Mn_2O_3 kann man auf einfache Weise prüfen, ob die Reduktionsflamme gut ist. Die Substanz löst sich in der Boraxperle auf und färbt die Perle rot. Beim richtigen reduzierenden Blasen wird das Mn_2O_3 zu MnO reduziert, und die Perle wird farblos (Perlreaktionen siehe Seite 111).

Nach diesen grundlegenden Bemerkungen sollen die *gebräuchlichen Untersuchungsverfahren* besprochen werden.

1. *Erhitzen der Probe mit oder ohne Zugabe von Chemikalien im Glaskölbchen.* Besonders Substanzen mit nichtmetallischem Glanz werden dieser Prüfung unterzogen. Man beobachtet, ob die Probe Wasser oder andere flüchtige Stoffe abgibt, sublimiert, schmilzt, verkohlt (organische Stoffe!) oder ihre Farbe verändert.
2. *Erhitzen der Probe im geschlossenen Glasröhrchen.* Diese Behandlung eignet sich vor allem für Minerale mit Metallglanz, wie Sulfide, Arsenide, Selenide usw., die dabei flüchtige Bestandteile abgeben.
3. *Erhitzen der Probe im offenen Glasröhrchen.* Bei reichlicher Sauerstoffzufuhr – man hält das Glasrohr etwas schräg nach oben und erzeugt so eine Kaminwirkung – wird die Substanz abgeröstet. Es bilden sich charakteristische Beschläge bzw. Sublimate, und mitunter ist ein kennzeichnender Säuregeruch wahrzunehmen.

Abb. 38: Oxydationsflamme (links) und Reduktionsflamme (rechts)



4. *Erhitzen der Probe auf Kohle.* Die pulverisierte Mineralprobe wird in ein kleines Grübchen gedrückt und mit der Oxydationsflamme berührt. Man hält die Kohle parallel zur Flamme und etwas schräg nach oben, so daß sich die entstehenden flüchtigen Stoffe auf der Kohle als Beschläge absetzen können. Bei einem weißen oder grauen Rückstand wird ein Tropfen Kobaltnitratlösung auf die Probe gegeben und nochmals geblüht. Nach dem Erkalten können unter Umständen charakteristische Farben auftreten. Zur Unterscheidung von Blei und Wismut versetzt man die Substanz mit der gleichen Menge eines Kaliumjodid-Schwefel-Gemischs.
5. *Reduktion von Verbindungen zu Metallen auf Kohle.* Wenn man eine Reduktion erzielen will, gibt man meist Soda in zwei bis dreifacher Menge zur Substanz und bläst längere Zeit reduzierend. Gelingt es, einen Metalltropfen zu schmelzen, so wird anschließend dessen Dehnbarkeit untersucht und geprüft, ob die Metallfitter von einem Magneten angezogen werden oder nicht.
6. *Perlreaktionen am Magnesiastäbchen.* Das glühende Magnesiastäbchen wird in Borax bzw. Phosphorsalz getaucht und vom anhaftenden Material wird eine glasklare Perle geschmolzen. Mit der heißen Perle nimmt man Mineralpulver auf und löst es in der Oxydationsflamme. Man beobachtet die Farbe der Perle und die Farbänderung beim Abkühlen und stellt anschließend fest, ob sich beim reduzierenden Blasen eine andere Farbe ergibt. Winzige Substanzmengen genügen in den meisten Fällen.
7. *Schmelzbarkeit und Flammenfärbung.* Ein kleiner Mineralsplitter wird mit der Pinzette in den heißesten Teil der Oxydationsflamme gehalten (2 bis 4 mm von der Flammenspitze entfernt). Nach einer von v. KOBELL aufgestellten Skala läßt sich der Grad der Schmelzbarkeit in sechs Stufen gliedern:

	<i>Mineralbeispiel</i>
a) Sehr leicht schmelzbar (bereits am Streichholz)	Antimonglanz
b) Leicht schmelzbar (dünne Nadeln am Streichholz)	Natrolith
c) Gut schmelzbar (nur vor dem Lötrohr)	Almandin (Granat)
d) Schwer schmelzbar (gut an den Kanten)	Amphibol
e) Schwer schmelzbar an den Kanten	Orthoklas
f) Kaum schmelzbar (nur feinste Spitzen werden abgerundet)	Bronzit

Im gleichen Untersuchungsgang bestimmt man die Flammenfärbung. Substanzen, die beim Erhitzen zerspringen, werden pulverisiert und am Magnesiastäbchen nach Befeuchten mit etwas konzentrierter Salz- oder Schwefelsäure aufgenommen. Schwache Färbungen lassen sich nur vor einem dunklen Hintergrund erkennen.

8. *Verhalten gegenüber Lösungsmitteln.* In Verbindung mit den Lötrohr-

untersuchungen wird geprüft, ob sich das Mineral in Lösung bringen läßt. Es lösen sich

in *Wasser*: Nitrate, einige Chloride, Sulfate, Borate und Karbonate;

in *Salzsäure*: Karbonate, einige Sulfide, Sulfate, Borate, Phosphate und Silikate; Eisenoxide und Eisenhydroxide;

in *Salpetersäure*, jedoch nicht in Salzsäure: die meisten Sulfide und Sulfo-salze;

in *Flußsäure*: Kieselsäure SiO_2 und fast alle Silikate;

in *Königswasser*, einem Gemisch aus konzentrierter Salz- und Salpeter-säure im Verhältnis 3 zu 1: Gold und Platin.

Bei Löslichkeitsuntersuchungen achte man darauf, ob sich Gase entwickeln, die Lösung gefärbt wird oder Rückstände auftreten.

Es würde zu weit führen, die einzelnen Untersuchungsgänge genau zu beschreiben. Wir begnügen uns damit, einige wichtige Elementnachweise, die leicht durchzuführen sind, zusammenzustellen (Seiten 112 bis 116). Darüber hinaus ist bei vielen Mineralen im Bestimmungsteil das Lötrohrverhalten angegeben.

Wer sich intensiver mit der Lötrohranalyse befassen möchte, dem empfehlen wir folgende Literatur:

Allgemeine Lötrohrprobierkunde. 1. Lehrbrief (Bergakademie Freiberg/Fernstudium) – im Buchhandel erhältlich

Tabellen zur qualitativen Lötrohranalyse. KLEBER-LENZEN, Bonn 1947

Lötrohrprobierkunde. HENGLEIN, Sammlung Göschen Band 483, Berlin 1949

Zusammenstellung einfacher chemischer Nachweise der Elemente

Aluminium Al

Mineralpulver mit Kobaltnitratlösung befeuchten und glühen – Blaufärbung (THENARDS Blau); Störung durch Fe und Mn; Zink gibt ähnliche Reaktion

Antimon Sb

Glühen auf Kohle → weißer Rauch; weißer Beschlag mit bläulichem Schimmer

Reduktion mit Soda auf Kohle → sprödes Metallkorn

Arsen As

Glühen auf Kohle → bläulicher Rauch; weißer, leicht mit der Flamme verreibbarer Beschlag in großer Entfernung von der Probe, der Rauch hat einen charakteristischen Knoblauchgeruch (giftig!)

Barium Ba

Flammenfarbe → gelblichgrün; Glühen der Probe auf Kohle → starkes Leuchten

Beryllium Be

Im geschlossenen Röhrchen mit Natriumhydroxid NaOH erhitzen, mit Wasser verdünnen und wenig 0,005%ige alkoholische Chinalizarinlösung zugeben → tiefblaue Farbe

Blei Pb

Mineralprobe läßt sich auf Kohle (mit und ohne Soda) zu Blei reduzieren → dehnbares Metallkorn; ringsherum bildet sich ein gelber Beschlag, der mit Kaliumjodid und Schwefel in der Hitze reagiert, wobei abermals ein gelber Beschlag entsteht (siehe Wismut)

Bor B

Mineralpulver mit Schwefelsäure H_2SO_4 und Methanol anrühren, am Magnesiastäbchen aufnehmen und erhitzen → grüne Flamme (Borsäuremethylester)

Brom Br

Substanz im geschlossenen Röhrchen mit $KHSO_4$ schmelzen → rotgelbe Bromdämpfe, stechender Geruch

Chlor Cl

Gepulverte Substanz mit Kupferoxid vermengen, mit Wasser anfeuchten und mit scharfer Flamme berühren → blaue, danach grüne Flammenfarbe

Chrom Cr

Oxydationsschmelze (Soda + Salpeter) auf Magnesiarinne → hellgelbes, wasserlösliches Natriumchromat

Eisen Fe

Reduktion der Substanz mit Soda auf Kohle → magnetische Metallfitter

Fluor F

Substanz mit konzentrierter Schwefelsäure H_2SO_4 versetzen → das sich bildende HF ätzt Glas so, daß es von konzentrierter H_2SO_4 nicht mehr benetzt wird

Gold Au

Reduktion der Probe mit Soda auf Kohle → blaßgelbes, dehnbares Goldkorn, das nur in Königswasser löslich ist. Im geschlossenen Röhrchen Lösung mit $SnCl_2$ versetzen → purpurrote oder braune Farbe (CASSIUSscher Goldpurpur)

Jod J

Substanz im geschlossenen Röhrchen mit $KHSO_4$ schmelzen → violette Joddämpfe, die mit Stärkekleister bestrichenes Papier blau färben

Kadmium Cd

Bei Reduktion der Substanz mit Soda auf Kohle bildet sich ein dunkelbrauner Beschlag, der nach außen bunt aussieht („Pfauenauge“)

Kalium K

Flammenfärbung → violett (Kontrolle mittels blauer Kobaltglasscheibe)

Kalzium Ca

Flammenfarbe → gelbrot

Beim Glühen auf Kohle → starkes Leuchten; die mit Kobaltnitratlösung
geglühte Probe wird grau (Oxidpulver)

Kobalt Co

Boraxperle oxydierend und reduzierend → smalteblau

Kohlenstoff C

1. Karbonate: Substanz im geschlossenen Röhrchen mit HCl übergießen
→ CO₂-Gasentwicklung (Einleitung in Bariumhydroxidlösung → Trübung)

2. elementarer Kohlenstoff: Substanz verbrennt im offenen Rohr, Graphit
nur bei sehr hohen Temperaturen

Kupfer Cu

Flammenfarbe nach Befeuchten mit HCl → blau, danach grün

Reduktion mit Soda auf Kohle → metallische, dehnbare Kupferflitter

Lithium Li

Flammenfarbe → karminrot

Magnesium Mg

Glühen der Substanz auf Kohle → starkes Leuchten; nach Anfeuchten mit
Kobaltnitratlösung und nochmaligem Glühen des Oxidpulvers → fleischrote
Farbe

Mangan Mn

Boraxperle oxydierend → heiß tiefviolett, kalt rotviolett

Boraxperle reduzierend → farblos

Oxydationsschmelze (Soda + Salpeter) → blaugrün

Molybdän Mo

Phosphorsalzperle oxydierend → heiß gelbgrün, kalt farblos-gelblich

Phosphorsalzperle reduzierend → heiß dunkelgrün, stumpf; kalt leuchtend
grün

Substanz mit konzentrierter HNO₃ auflösen, eindampfen, mehrfach wieder-
holen → tiefblaue Farbe

Natrium Na

Flammenfarbe → gelb (schon bei geringen Spuren)

Nickel Ni

Boraxperle oxydierend → kastanienbraun

Boraxperle reduzierend → grau (bis farblos)

Reduktion mit Soda auf Kohle → magnetische Metallflitter (Unterschei-
dung von Eisen durch Perlenreaktion)

Phosphor P

Substanz im geschlossenen Röhrchen mit Magnesium schmelzen und Schmelzkuchen in Wasser zerstoßen → Phosphin-(PH_3 -)Entwicklung, typischer Karbidgeruch (giftig!)

Platin Pt

Reduktion des Mineralpulvers mit Soda auf Kohle → graue, unmagnetische Metallfitter, in Säuren unlöslich

Quecksilber Hg

Substanz im geschlossenen Röhrchen mit Soda mäßig erhitzen → Quecksilberdampf entweicht und schlägt sich an kühleren Glasteilen tropfenförmig nieder (giftig!)

Schwefel S

Im geschlossenen Röhrchen stark erhitzen → Schwefel schlägt sich an kühlerer Glaswandung nieder (hochgeschwefelte Sulfide)

Im offenen Röhrchen stark erhitzen → SO_2 entweicht und läßt sich am stechenden Geruch erkennen (alle Sulfide)

Substanz mit Soda auf Kohle schmelzen und Schmelzkuchen abschaben, auf Silberblech aufbringen und mit Wasser befeuchten → schwarzer bis brauner Fleck = Heparprobe (alle Schwefelverbindungen)

Selen Se

Flammenfarbe → kornblumenblau

Substanz auf Kohle erhitzen → stahlgrauer Beschlag; braune Dämpfe mit Geruch nach faulem Rettich (giftig!)

Silber Ag

Verbindungen lassen sich mit Soda auf Kohle reduzieren → dehnbares Metallkorn, silberweiß

Silizium Si

Phosphorsalzperle → „Kieselsäureskelett“ im Inneren der Perle (Aluminium und Phosphor geben ähnliche Reaktion)

Stickstoff N

1. Nitrate: Schmelzen mit KHSO_4 im geschlossenen Röhrchen → braunrote, nitrose Gase, Geruch nach salpetriger Säure

2. Ammoniumverbindungen: Schmelzen mit Soda im geschlossenen Röhrchen → Ammoniak (Geruch, Blaufärbung von rotem Lackmuspapier)

Strontium Sr

Flammenfarbe → purpurrot

Tellur Te

Erhitzen der Probe auf Kohle → weißer Beschlag, der in der Reduktionsflamme unter grünem Schein verfliegt

Titan Ti

Phosphorsalzperle oxydierend → heiß gelb bis farblos, kalt farblos

Phosphorsalzperle reduzierend → heiß gelb, kalt violett

Uran U

Boraxperle → fluoresziert im ultravioletten Licht

Photoplatte → wird durch Verpackung hindurch geschwärzt

Vanadin V

Boraxperle oxydierend → heiß gelbgrün, kalt farblos

Boraxperle reduzierend → heiß schmutziggrün, kalt leuchtendgrün

Schmelzen der Substanz mit KHSO_4 im geschlossenen Röhrchen → gelber Schmelzkuchen

Wismut Bi

Reduktion mit Soda auf Kohle → spröde Metallkugel; braungelber Oxidbeschlag, der mit Kaliumjodid und Schwefel in der Hitze unter Bildung eines ziegelroten Beschlags reagiert (siehe Blei)

Wolfram W

Oxydationsschmelze mit Soda + Salpeter, Schmelzkuchen in Wasser lösen und mit konzentrierter HCl ansäuern, Zinkgranulat zugeben → blaue Farbe. Substanz im geschlossenen Röhrchen ca. 30 Minuten in $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ (1:3) kochen → gelber Überzug

Zink Zn

Reduktion der Probe mit Soda auf Kohle ergibt *kein* metallisches Korn; in der Hitze → gelblicher, kalt weißer Beschlag, der nach Anfeuchten mit Kobaltnitratlösung und Glühen gelbgrün wird (RINMANS Grün)

Zinn Sn

Reduktion auf Kohle mit Soda oder Kaliumoxalat $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ → metallisches Zinn in feinen Flitterchen (nach Zerreiben der Schmelze und Abschlämmen der Kohle)

Minerale können sich innerhalb der Erdkruste und an der Erdoberfläche in vielerlei Weise bilden. Manche haben sich aus heißen Quellwässern abgeschieden, andere sind aus Gesteinsschmelzen kristallisiert.

Nur in den seltensten Fällen konnte die Bildung von Mineralen beobachtet werden. Solche Kristallisationen aus heißen Gasen und Wässern, wie wir sie aus dem „Tal der 10000 Dämpfe“ in Alaska oder von den vulkanischen Aushauchungen der Insel Vulcano kennen, haben uns wichtige Einblicke in die Bildungsweise verschafft. In der Tiefe ablaufende Prozesse lassen sich indessen nur verstehen, wenn die Naturbeobachtung durch Laboratoriumsversuche ergänzt wird. Die Entstehung von Mineralen ist in der Regel an langdauernde geologische Vorgänge geknüpft.

Im Verlauf von 5 Milliarden Jahren – einem für menschliche Begriffe unvorstellbaren Zeitraum – haben sich bestimmte Mineralgemeinschaften, sei es nun als Gesteine oder als Minerallagerstätten, an verschiedenen Stellen der Erde in ähnlicher Weise ausgebildet. Es müssen somit gleiche oder ähnliche Bedingungen an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten geherrscht haben. Da wir die mineralbildenden Prozesse als Folge wiederkehrender und experimentell nachahmbarer physikalisch-chemischer Bedingungen auffassen können, sind wir auch in der Lage, jede Mineralgemeinschaft einem natürlichen Bildungsbereich zuzuordnen. Besonders bei der planmäßigen Suche nach neuen nutzbaren Mineralvorkommen sind diese Kenntnisse von großer Bedeutung. Aber auch der Mineralsammler sollte die Bildungsweise der Minerale in groben Zügen kennen, damit er zu beurteilen vermag, welche Minerale und Mineralgemeinschaften in einem Gebiet zu erwarten sind.

Von alters her unterscheiden wir zwischen *Gesteinen* als Mineralgemengen, die größere Räume der Erdkruste einnehmen, und *Minerallagerstätten* mit verhältnismäßig geringer Ausdehnung. An der stofflichen Zusammensetzung der meisten Gesteine beteiligt sich eine sehr begrenzte Anzahl von Mineralen. Dagegen gibt es auf den Minerallagerstätten – dazu rechnen die Erzlagerstätten – eine Vielzahl von Mineralen, die außerdem oft gut ausgebildet sind. Die Minerallagerstätten findet man zumeist in Gangausfüllungen, Drusen und anderen Hohlräumen im Gestein, weshalb der Sammler derartigen Stellen besondere Aufmerksamkeit schenkt. Fast alle Stufen (= kennzeichnende Mineralfunde für Sammlungen) mit frei entwickelten Kristallen und mit Erzmineralen entstammen solchen Vorkommen. Nicht immer jedoch ist zwischen Gesteinen und Minerallagerstätten scharf zu trennen.

Die Entstehung der Gesteine und die Bildung der Minerallagerstätten sind eng miteinander verknüpft. Es liegt deshalb nahe, sie gemeinsam zu besprechen. Wir kennen drei große Gruppen von Gesteinen:

1. *Erstarrungsgesteine* oder *magmatische Gesteine*,
2. *Absatzgesteine* oder *Sedimentgesteine* und
3. *Umwandlungsgesteine* oder *metamorphe Gesteine*.

Alle mineralbildenden Vorgänge lassen sich einer dieser drei Gesteinsgruppen zuordnen. Da es innerhalb dieser Gruppen einander ablösende Vorgänge gibt, sprechen wir auch von einer magmatischen, sedimentären und metamorphen *Abfolge*.

Bevor wir uns mit den Prozessen der Gesteinsbildung im einzelnen befassen, geben wir erst einmal einen Überblick über die Entstehung dieser drei Gesteinsgruppen:

1. Erstarrungsgesteine

(magmatische Gesteine) bilden sich, wenn eine Gesteinsschmelze in der Tiefe – als Magma – oder an der Erdoberfläche – als Lava – kristallisiert. Die Art der Minerale, die sich aus der Schmelze abscheiden, und die Reihenfolge ihrer Kristallisation hängen im wesentlichen von der chemischen Zusammensetzung der Schmelze ab. Nach dem Ort der Gesteinserstarrung untergliedern wir in *Tiefengesteine*, *Oberflächengesteine* und *Ganggesteine* (oder in gleicher Reihenfolge: abyssische, effusive und hypabyssische Gesteine).

2. Absatzgesteine

(Sedimente oder Sedimentgesteine) sind Bildungen, die sich an der Erdoberfläche – auf dem Festland, im Meer oder in festländischen Oberflächengewässern – abgesetzt haben. Wenn sie locker sind, sprechen wir von Sedimenten, wenn sie ohne wesentliche Veränderung des Mineralbestands verfestigt (verkittet) wurden, von Sedimentgesteinen. Absatzgesteine entstehen dadurch, daß alle Gesteine an der Erdoberfläche der Verwitterung ausgesetzt sind. Durch mannigfaltige Vorgänge, wie mechanische Verwitterung mit Zerfall des Gesteins oder chemische Verwitterung, werden die Voraussetzungen für den Transport im festen oder gelösten Zustand geschaffen. Nach mehr oder weniger großem Transportweg bilden sich auf mechanischem, anorganisch-chemischem oder biochemischem Weg neue Gesteine. Sandsteine, Kalksteine, Kohlen und Salzgesteine sind allgemein bekannte Absatzgesteine.

3. Umwandlungsgesteine

(metamorphe Gesteine) entstehen, indem Gesteine der beiden ersten Gruppen in tieferen Teilen der Erdkruste, wo höhere Temperaturen und größere Drucke herrschen, umgebildet werden, und zwar vorwiegend in festem Zustand. Wenn diese Umbildung auf den Einflußbereich erstarrender Magmen begrenzt ist, die in ihrer Umgebung eine starke Temperaturerhöhung hervorgerufen, sprechen wir von *kontaktmetamorphen Gesteinen* (oder kurz „Kontaktgesteinen“). Erstreckt sich die Gesteinsumbildung auf größere Bereiche, z. B. durch Versenkung ausgedehnter Komplexe in größere Tiefe, dann entstehen *regionalmetamorphe Gesteine*. In einer gewissen Tiefe werden die bereits umgewandelten Gesteine teilweise aufgeschmolzen. Wenn sich eine solche Schmelze mit dem restlichen Material vermengt, bilden sich *Mischgesteine* oder *Migmatite*. Im hochmetamorphen Bereich verfließen die Grenzen zwischen Erstarrungs- und Umwandlungsgesteinen.

Die Gesteine erscheinen den meisten Menschen als die Verkörperung des Unwandelbaren, jedoch verändern sie sich im Verlauf der Erdgeschichte

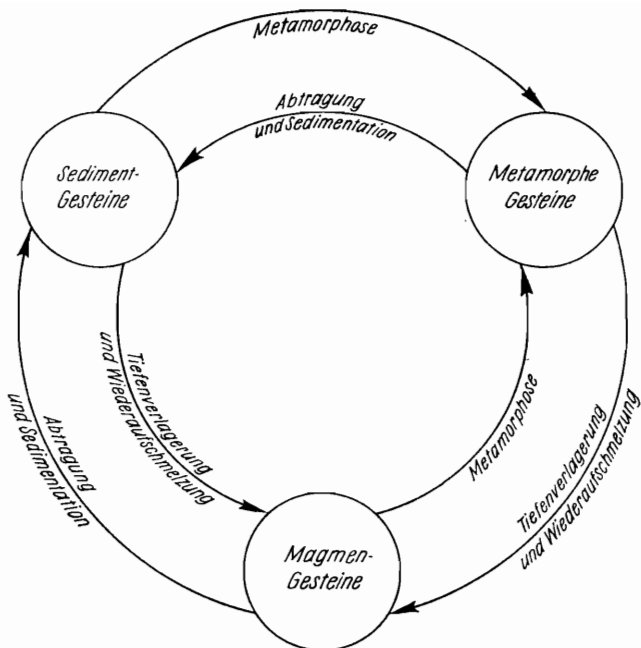


Abb. 39: Schematische Darstellung des Kreislaufs der Gesteine (nach RONNER 1964)

ständig durch zumeist unmerklich langsame Krustenbewegungen. Es entstehen untermeerische Senken, in denen immerzu neues Material abgesetzt wird und Sedimente bildet. Diese Absatzgesteine werden im Verlauf der Zeit verfestigt und in größere Tiefen abgesenkt. Im Zuge gebirgsbildender Vorgänge kristallisieren sie sich zu metamorphen Gesteinen um, oder sie werden in der Tiefe teilweise oder völlig aufgeschmolzen und dadurch in Magmengesteine verwandelt. Nach vielen Hundertmillionen Jahren werden diese Metamorphite und Magmengesteine wieder an die Erdoberfläche emporgehoben, wo sie der Verwitterung und Abtragung ausgesetzt sind. Auf diese Weise entstehen erneut Sedimente. Wir sprechen von einem „Kreislauf der Gesteine“, dessen wesentliche Stadien aus der Abbildung 39 hervorgehen. Durch neuere Forschungen ist bekannt, daß die heute vorliegenden magmatischen Gesteine überwiegend durch Aufschmelzung fester Gesteine entstanden. Wir sprechen von einer Wiedergeburt oder Palingenese der Erstarrungsgesteine. Ein „Urgebirge“ und sogenannte „Urgneise“ im Sinne einer sehr alten – vielleicht ersten – Erdkruste, die sich als Schlackenschicht aus einer glutflüssigen Silikatschmelze bildete, gibt es nirgends mehr. Der norwegische Petrologe Tom W.F.BARTH berechnete, daß die durch Ver-

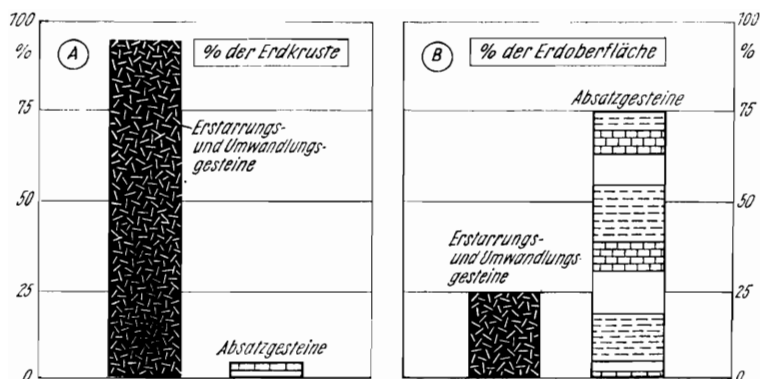
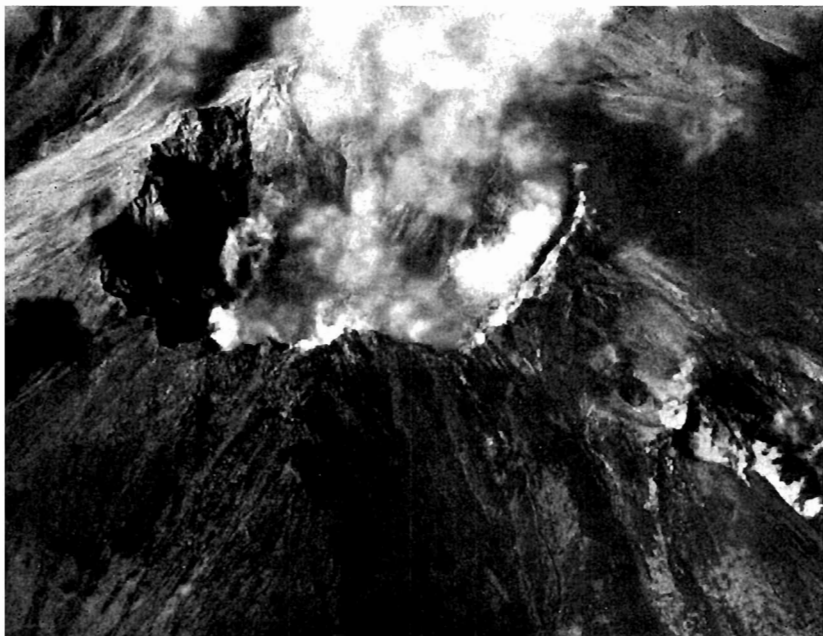


Abb. 40: Die relative Verbreitung der Gesteinsgruppen:
A = in der gesamten 16-km-Kruste; B = an der Erdoberfläche

witterung umgesetzte Menge kontinentaler Gesteine einer durchschnittlichen Gesamtabtragung von 30 bis 60 km Tiefe entsprechen. Mit anderen Worten heißt das, der Stoffbestand der Festländer hat wiederholt den geologischen Kreislauf der Gesteine durchlaufen.

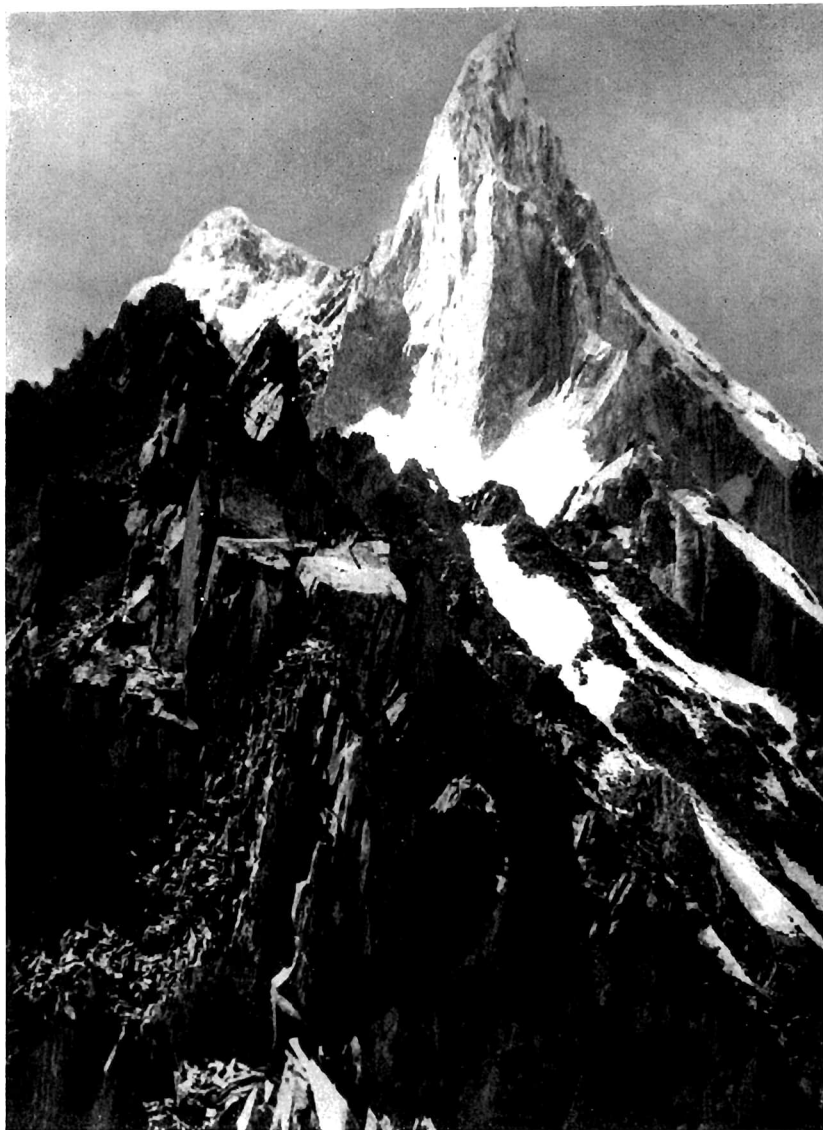
Wie weit sind nun die einzelnen Mineralarten und -gruppen am Aufbau der Erdkruste beteiligt? Man hat überschlagsmäßig berechnet, daß sich die 16-km-Kruste zu 95 Gewichtsprozent aus Erstarrungs- und Umwandlungsgesteinen und nur zu 5% aus Absatzgesteinen zusammensetzt. (Hingegen sind $\frac{3}{4}$ der Erdoberfläche von Sedimenten bedeckt und nur $\frac{1}{4}$ wird von Erstarrungs- und Umwandlungsgesteinen eingenommen. Siehe Abb. 40). Über den durchschnittlichen Mineralbestand der Gesteine sind wir recht gut unterrichtet. Im Grunde genommen ist er ziemlich einheitlich – die Gesteine setzen sich im wesentlichen aus Silikatmineralen zusammen und herrschen gegenüber den mengenmäßig untergeordneten Mineralagerstätten stark vor. Es verwundert daher nicht, wenn nur eine begrenzte Zahl von Mineralarten bzw. -gruppen den Hauptteil des Krustenmaterials ausmacht. Ganz ähnlich wie bei den chemischen Grundstoffen, wo nur wenige der 91 natürlichen Elemente etwa 99 Gewichtsprozent der Erdkruste darstellen, verhält es sich bei den Mineralen.

Über den Anteil der einzelnen Minerale bzw. Mineralgruppen an der Zusammensetzung der Erdrinde liegen Berechnungen mehrerer Forscher vor, die zwar nicht völlig übereinstimmen, in groben Zügen jedoch ähnliche Resultate erbringen (s. Tabelle S. 132). Danach überwiegen die Minerale der *Feldspatgruppe*, das sind Plagioklas, Orthoklas, Mikroklin und Sanidin, bei weitem. Einen wesentlich geringeren, immerhin noch beachtlichen Teil stellen dunkle Silikate, die wir zur *Augit- und Hornblendegruppe* zusammenfassen, und *Quarz*. Sodann sind mit durchschnittlich 3 Gewichtsprozent die



Einer der 622 gegenwärtig aktiven Vulkankrater ist der Sakurajima in Japan. (Foto: S.W.BALLEY). Dem Krater entströmen heiße Gase, aus denen sich Minerale abscheiden. Gase durchdringen auch die Gesteinsmassen des Vulkans; dort kommt es ebenfalls zur Mineralbildung. Gelegentlich entstehen auf diesem Wege nutzbare Rohstoffvorkommen, die sich bis in die Wurzelzone des Vulkan-kraters erstrecken können.

Glimmerminerale, wie Biotit und Muskovit, und die Eisenoxide *Magnetit* und *Hämatit* vertreten. Der *Kalzit*, dessen Hauptvorkommen die Kalksteine sind, und die umfangreiche und mineralogisch komplizierte Gruppe der Tonminerale bilden je 1,5% des durchschnittlichen Mineralbestands. Alle anderen Minerale und Mineralgruppen sind mit weniger als 9 Gewichtsprozent am Aufbau der 16-km-Kruste beteiligt. So ergeben zum Beispiel *alle* Sulfide, die ja zum Teil wichtige Schwermetallerze darstellen, nicht mehr als 0,3%. Ebenso wie viele andere Minerale werden sie nur unter ganz bestimmten Bedingungen gebildet oder angereichert.



Im Meer abgelagerte Tone und Kalke wurden in der Tiefe zu Schiefer und Marmor umgewandelt und im Verlauf einer Gebirgsbildung emporgehoben. Nachdem die darüberliegenden Massen abgetragen worden sind, verwittern jetzt Marmor und Schiefer. Die gelockerten und gelösten Stoffe werden durch Bäche und Flüsse fortgetragen und lagern sich erneut ab. (Die Abbildung zeigt eine steil aufragende Marmorzacke und phyllitische Schiefer im Gebiet der 6238 m hohen Marble-Peak-Gruppe im Karakorum (Foto: V. SELLA)



Ein wesentliches Merkmal vieler Sedimente ist die Schichtung. Bei der Verwitterung werden widerstandsfähigere Lagen der Absatzgesteine herausmodelliert und lassen dadurch die Schichtung erkennen. Grand Canyon des Colorado®-flusses in Arizona (Foto: TOZIER)

Tiefengesteine

Allgemeine Merkmale: deutlich *körnig*, meist *regellose* Anordnung der einzelnen Gemengteile. Die Hauptgemengteile sind mit bloßem Auge erkennbar. Sie füllen den Raum so, daß die Gesteine *massig* erscheinen.

Granit

ist das am weitesten verbreitete Tiefengestein. Er setzt sich aus Quarz, Alkalifeldspat und Plagioklas als helle Bestandteile und Biotit als häufigster dunkler Bestandteil zusammen. Gelegentlich tritt Muskovit bzw. Hornblende hinzu. Die Alkalifeldspäte (Orthoklas, Mikroklin) sind nicht selten etwas größer als die übrigen Bestandteile.

Gabbro

führt als Hauptbestandteile die Minerale Plagioklas und Augit. Hinzu treten oft Hornblende und etwas Orthoklas und Quarz. Übersteigt die Quarzmenge 10%, dann sprechen wir von *Quarzgabbro*. *Olivingabbro* enthält Olivin und leitet über zum Peridotit. Für die Trennung zwischen Gabbro und *Diorit* ist der Anorthitgehalt des Plagioklasses maßgebend (Gabbro > 50% Anorthitgehalt).

Peridotit

stellt ein ultrabasisches Tiefengestein dar, das nur aus dunklen Mineralen (Olivin und etwas Augit) besteht. Es erscheint im Handstück fast schwarz und hat eine verhältnismäßig große Dichte.

Syenit

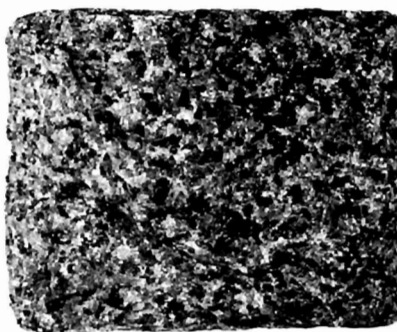
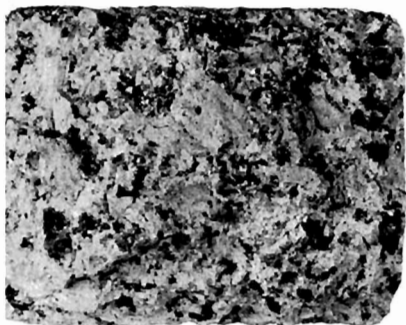
ist im Gegensatz zum Granit quarzfrei bis quarzarm (bis 10% Quarz) und führt als vorherrschenden Feldspat Orthoklas. Daneben ist etwas Plagioklas vertreten. Die dunklen Gemengteile sind Biotit, Hornblende und Augit.

Nephelinsyenit

enthält Alkalifeldspat und Nephelin als wichtige helle Bestandteile, während Plagioklas und Quarz nicht vorhanden sind. An dunklen Gemengteilen treten Biotit, Hornblende und Augit hinzu. Die hellen Minerale überwiegen.

Granitporphyr

tritt gangartig auf und vermittelt zwischen Tiefen- und Ergußgestein. Der Mineralbestand entspricht dem des Granits. Im Unterschied zum Granit sind im Granitporphyr größere Kristalle von Feldspat und Quarz zu finden; sie liegen in einer körnigen Grundmasse (porphyrisches Gefüge).



Granit
Gabbro
Peridotit

Syenit
Nephelinsyenit
Granitporphyr

Ergußgesteine

Allgemeine Merkmale: häufig porphyrisches Gefüge, d. h. größere Kristalle in einer feinkörnigen bis dichten Grundmasse. Die Erstarrung zu Gesteinsglas ist auf Ergußgesteine beschränkt (Obsidian, Pechstein, Bimsstein). Neben massigen Gesteinen sind poröse Typen anzutreffen. Die decken- oder kegelförmigen Ergußgesteine findet man nicht selten in Verbindung mit vulkanischen Auswurfmassen (Tuffe, vulkanische Bomben).

Quarzporphyr

entspricht im Mineralbestand dem Tiefengestein Granit. Mit bloßem Auge sind meist nur die als Einsprenglinge vorhandenen Minerale Quarz und Feldspat erkennbar. Die tafeligen Feldspate zeigen deutliche Spaltbarkeit. Man untersucht die Einsprenglinge und das Gefüge am zweckmäßigsten mit einer Lupe.

Basalt

ist das häufigste Ergußgestein. Wesentliche Gemengteile des dunkelgrauen bis schwarzen und meist sehr feinkörnigen Gesteins sind Plagioklas und Augit. Oft enthalten die Basalte einsprenglingsartig gelbgrünen Olivin. Veränderte Typen nennt man *Diabas*. In ihnen sind die ursprünglichen Minerale mehr oder weniger umgewandelt. Deutlich körniger Basalt heißt *Dolerit*.

Leuzitbasalt

umfaßt Basalte, in denen als Feldspatvertreter das Mineral Leuzit (im abgebildeten Handstück auch als Einsprengling) auftritt. Weitere Hauptgemengteile sind wie beim Basalt Plagioklas, Augit und Olivin. Nephelin kann ebenfalls darin enthalten sein, doch erkennt man ihn und die anderen Bestandteile der Grundmasse nur mit dem Mikroskop. Fehlt Olivin, dann sprechen wir von *Leuzitit*.

Andesit

hat einen dem Tiefengestein Diorit entsprechenden Mineralbestand. Plagioklas ist der vorherrschende helle Gemengteil. Er bildet auch die Einsprenglinge der porphyrischen Typen (siehe Bild). Daneben sind als dunkle Minerale Augit, Hornblende und Biotit vorhanden, die ebenfalls Einsprenglinge bilden können.

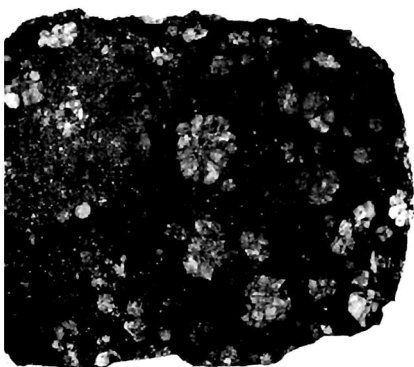
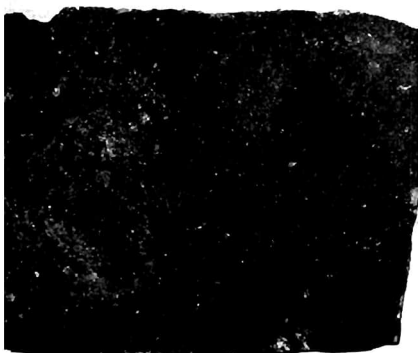
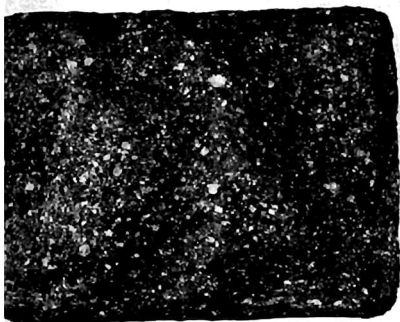
Porphyrit

unterscheidet sich vom Andesit nur dadurch, daß die Minerale nicht frisch sind, sondern zu Chlorit, Epidot, Kalzit, Limonit u. a. umgewandelt wurden. Die Porphyrite sind geologisch ältere Gesteine als die Andesite. Im Bild erkennt man Einsprenglinge von Hornblende.

Phonolith

ist durch seinen hohen Gehalt an Feldspatvertretern (Nephelin, Leuzit u. a.) gekennzeichnet. In dem hellen Gestein kann man die Gemengteile nur selten mit freiem Auge unterscheiden.

Hauptminerale der grauen, oft etwas fettig glänzenden Grundmasse sind Sanidin und Nephelin. Die Phonolithe stellen die Ergußform der Nephelin- und Leuzitsyenite dar.



Quarzporphyr
Basalt
Leuzitbasalt

Andesit
Porphyrit
Phonolith

Absatzgesteine

Allgemeine Merkmale: oft auf Grund veränderter Absatzbedingungen mehr oder weniger deutlich *geschichtet* (Schichtgesteine). Sie sind entweder locker oder in unterschiedlichem Maße verfestigt. In manchen Absatzgesteinen sind Reste ehemaliger Lebewesen enthalten (Fossilien).

Klastische Sedimente

Konglomerat

besteht aus abgerollten Gesteinsbruchstücken (Geröllen), die durch eine Zwischenmasse verfestigt sind. Die Gerölle können einer einzigen Gesteinsart angehören; häufiger handelt es sich um verschiedene Gesteinsarten. Der Durchmesser der einzelnen Gerölle liegt über 2 mm.

Sandstein

setzt sich aus verkitteten Mineralkörnern mit einer Größe von 0,02 bis 2 mm zusammen. Vorherrschendes Mineral ist zumeist Quarz. Feldspatreiche Abarten heißen *Arkose*. Kalzitreicher Sandstein wird *Kalksandstein* genannt. Als Bindemittel kommen Kalzit, Quarz, Limonit oder tonige Substanz in Frage.

Ton

nennt man die unverfestigten mechanischen Sedimente (mit der Hand zu zerbröckeln), deren Mineralteilchen einen kleineren Durchmesser als 0,02 mm aufweisen. Sie enthalten neben verschiedenen Tonmineralen fein zerriebenen Feldspat, Glimmer und Quarz. Bei der Verfestigung entsteht ein Schiefer-ton. Kalkreiche Tone nennen wir *Mergel*.

Chemische und biogene Sedimente

Kalkstein

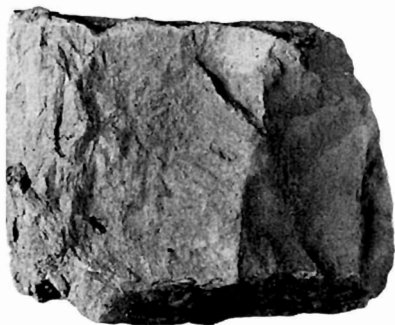
besteht im wesentlichen aus Kalzit, dem tonige und bituminöse Bestandteile zugemengt sein können. Der Kalzit ist entweder direkt aus dem Meerwasser abgeschieden worden, oder es haben sich die Hartteile von Lebewesen angereichert (Algen, Muscheln, Korallen u.a.). Oft lassen sich die Reste der Lebewesen noch erkennen (Bild).

Steinsalz (Halit)

hat sich als rein chemisches Absatzgestein durch Auskristallisation aus konzentrierten Meerwasserlösungen gebildet. Es besteht fast nur aus Steinsalzkristallen mit deutlicher Spaltbarkeit. Manchmal ist das Steinsalz blau gefärbt. Unter den weiteren Gemengteilen ist hier Sylvin aufzuführen.

Steinkohle

nimmt – zusammen mit Torf, Braunkohle und Anthrazit – eine Sonderstellung unter den Gesteinen ein. Sie setzt sich nicht aus Mineralen zusammen, sondern ging aus pflanzlichen Produkten hervor. Die Steinkohle besitzt grauschwarze Farbe und einen mehr oder weniger ausgeprägten Glanz.



Konglomerat
Sandstein
Ton

Kalkstein
Steinsalz (Halitit)
Steinkohle

Umwandlungsgesteine

Allgemeine Merkmale: massige Gesteine, oft mit einer bevorzugten Wachstumsrichtung der Minerale (Schieferung, Paralleltextur). Sie kommen in der Umrandung von Erstarrungsgesteinen oder in größerer flächiger Verbreitung vor. Mineralbestand und Gefüge sind je nach Ausgangsgestein und Grad der Umwandlung sehr verschiedenartig. Bei manchen Typen zeichnen sich bestimmte Minerale durch ihr Größenwachstum aus. Diese Minerale kennzeichnen häufig ein Umwandlungsgestein (Disthen, Staurolith, Granat, Cordierit u. a.).

Chloritschiefer

bildet sich aus geeignet zusammengesetzten Oberflächengesteinen und Tuffen, aber auch aus Absatzgesteinen. Hauptgemengteil ist Chlorit in grünen, sehr feinen Blättchen. In untergeordneten Mengen können Albit und Epidot hinzutreten. Manche Chloritschiefer führen größere, gut erkennbare Magnetit- oder Granatkristalle.

Glimmerschiefer

besteht hauptsächlich aus Glimmer und Quarz; den Glimmer erkennt man mit bloßem Auge. Der Glimmer ist zumeist Muskovit, doch treten auch Biotit und Paragonit auf. Manche Glimmerschiefer enthalten als größere Kristalle typische Umwandlungsminerale: Granat, Disthen, Staurolith, Andalusit u. a. Als stärker umgewandelte Gesteine bilden sich Glimmerschiefer in größerer Tiefe als Chloritschiefer.

Gneis

ist ein deutlich kristallines, schiefriges und feldspatführendes Gestein. Zum Feldspat treten Quarz und Glimmer als weitere Hauptgemengteile. Es gibt viele durch Mineralbestand und Gefüge unterschiedene Arten. Gneis entstand dadurch, daß Erstarrungs- oder Absatzgesteine in größerer Tiefe umkristallisiert wurden.

Fruchtschiefer

entstand in der äußeren Zone des „Kontakthofes“ von Tiefengesteinskörpern durch Aufheizung des Nebengesteins. Im Tonschiefer bildeten sich zahlreiche Cordieritkristalle, die als dunkle Flecken im dichten Gestein erscheinen.

Granatmarmor

geht aus tonhaltigem Kalkstein hervor. Er bildet Einlagerungen in kristallinen Schiefen oder erscheint am Kontakt zu Tiefengesteinen. Der rötliche Kalktongranat (Grossular) bildet größere Körner in der grauweißen, aus Kalzit zusammengesetzten, deutlich kristallinen Grundmasse.

Migmatit (Mischgestein)

nennen wir Gesteine, die aus zwei unterscheidbaren Anteilen aufgebaut sind: Ein Umwandlungsgestein ist mit einem Erstarrungsgestein vermischt. Oft handelt es sich um Aufschmelzungsprodukte mit einem Restanteil des ursprünglichen Umwandlungsgesteins (Bild). Sie entstehen in großer Tiefe und bei Temperaturen zwischen 650 und 800°C aus Gneis.



Chloritschiefer
Glimmerschiefer
Gneis

Fruchtschiefer
Granatmarmor
Migmatit (Mischgestein)



Abb. 54: Einfacher Sammlungsschrank mit vier Schubkästen zur Aufbewahrung von Mineralen (aus ENGLISH und JENSEN)

Der durchschnittliche Bestand an Mineralen in der 16 km mächtigen Erdkrinde (nach FERSMAN)

Feldspatgruppe (Plagioklas, Orthoklas usw.)	55,0 Gewichtsprozent
Augite, Hornblenden	15,0 Gewichtsprozent
Quarz	12,0 Gewichtsprozent
Glimmergruppe (Biotit, Muskovit usw.)	3,0 Gewichtsprozent
Magnetit und Hämatit	3,0 Gewichtsprozent
Kalzit	1,5 Gewichtsprozent
Tonminerale	1,5 Gewichtsprozent
alle übrigen Minerale	9,0 Gewichtsprozent

Nachdem wir uns einen Überblick über die Entstehung der drei großen Gesteinsgruppen verschafft haben, wollen wir uns nun den einzelnen Prozessen der Gesteinsbildung zuwenden und sehen, welche Minerale und Mineralaggregate ihnen zugeordnet sind.

Die magmatische Abfolge

Alle Minerale und Gesteine, die dadurch entstanden, daß glutheiße Silikatschmelzen an der Erdoberfläche oder im Erdinneren erstarrten, stellen wir zur magmatischen Abfolge.

Die Existenz von Gesteinsschmelzen ist aus zwei Gründen unbestreitbar.

Sie wird uns einmal durch gegenwärtig tätige Vulkane, denen glutflüssige Massen entströmen, vor Augen geführt. Zum anderen beweisen Laboratoriumsversuche, daß feste Gesteine bei den in größerer Tiefe der Erdkruste herrschenden Temperaturen und Drucken teilweise oder – wenn sie entsprechend zusammengesetzt sind – völlig aufgeschmolzen werden. Solche Experimente wurden in großem Umfang und sehr systematisch vor allem von H. G. F. WINKLER und H. v. PLATEN in den letzten Jahren durchgeführt. Diese beiden Wissenschaftler haben nicht nur die Schmelzbildung innerhalb der Gesteinskruste bestätigt, auf die man von Geländebeobachtungen ausgehend geschlossen hatte, sondern sie konnten diesen Vorgang auch in vielen Einzelheiten nachzeichnen.

Entweder erreichen Gesteinsschmelzen die Erdoberfläche, oder sie erstarren innerhalb der Erdrinde. Innerhalb der Kruste erstarren vorwiegend die aus Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas und etwas Biotit bestehenden *Granite* (95% aller Tiefengesteine). Dagegen sind die an der Oberfläche erstarrenden Gesteine zu 83% *Basalte*, die sich aus Plagioklas, Augit, Olivin und etwas Erz zusammensetzen. Das ist sicher kein Zufall, sondern erklärt sich letztlich aus dem Ursprungsort und den Eigenschaften dieser Schmelzen. *Basaltische Magmen* bilden sich in einer Tiefe von 50 bis 100 km im oberen Erdmantel und können auf Grund ihrer hohen Temperatur von 1200 bis 1500°C, ihrer Zusammensetzung und ihres physikalisch-chemischen Verhaltens bis zur Erdoberfläche aufsteigen. *Granitische Magmen* bilden sich vorwiegend im Zusammenhang mit der höchstgradigen Gesteinsumwandlung in weniger als 20 km Tiefe. Die Temperatur der Granitschmelzen beträgt etwa 650 bis 800°C, liegt also wesentlich niedriger als die der Basaltschmelzen. Ein weiterer, bedeutsamer Unterschied besteht im Wassergehalt. Während die kieselsäureärmeren basaltischen Magmen nur sehr wenig Wasser enthalten, haben die granitischen Schmelzflüsse in der Regel mehrere Gewichtsprozent Wasser aufgenommen. Dieser hohe Wassergehalt bewirkt, daß die Schmelztemperatur und die Erstarrungstemperatur sehr eng beieinanderliegen. Eine geringe Aufwärtsbewegung (= Druckentlastung!) genügt, um eine Granitschmelze erstarren zu lassen. Wir müssen uns, da die Verhältnisse im einzelnen recht kompliziert sind, mit diesen Hinweisen begnügen.

Je nachdem, ob ein Silikatschmelzfluß an der Erdoberfläche oder in der Tiefe erstarrt, ergeben sich grundlegende Unterschiede. Wenn Magma an der Erdoberfläche austritt, wird es plötzlich vom Druck entlastet, und die in der Schmelze gelösten leichtflüchtigen Bestandteile sieden ab. Der schmelzflüssige Rückstand – die Lava – erstarrt schnell zu einem glasigen oder sehr feinkörnigen Mineralgemenge. Ein solches Gestein enthält manchmal größere Kristalle, die sich bereits beim Empordringen gebildet haben. Diese „Einsprenglinge“, welche in einer mehr oder weniger dichten Grundmasse liegen, ergeben das *porphyrische Gefüge*. Es kennzeichnet nicht selten die Ergußgesteine. Andere Oberflächengesteine erhalten durch die absiedenden Gase ein schaumiges bis blasiges Gefüge, wie wir es besonders von den Bimssteinen kennen. Werden die Blasenräume nachträglich von Mineralsubstanz ausgefüllt, so entstehen *Mandelsteine*.

Aus den vom Magma abgespaltenen heißen Gasen und Wässern, den Exhalationen (lat. *exhalatio* = Aushauchung), setzen sich Minerale in Form von Sublimaten und Sintern ab. An vulkanischen Gasaustritten finden wir unter anderem Salmiak, Halit, Schwefel, Realgar, Auripigment, Eisenglanz, Tenorit, Tridymit, Opal, Epsomit, Gips, Anglesit, Soda und Aragonit. Einige exhalativ gebildete Minerale, wie Schwefel, Zinnober und Sassolin, haben wirtschaftliche Bedeutung, obgleich solche Minerallagerstätten meist eine geringe Ausdehnung besitzen.

Die auf dem Meeresboden austretenden Gesteinsschmelzen geben ebenfalls ihre flüchtigen Stoffe ab, die dann mit dem Meerwasser reagieren. In mehr oder weniger großer Entfernung vom Magmenaustritt werden Minerale abgesetzt, deren Bildungsweise zwischen der magmatischen und der sedimentären Abfolge vermittelt. Da der Stoffbestand aus dem Magma stammt, die Mineralniederschläge am Meeresboden jedoch die Merkmale der Absatzgesteine aufweisen, sprechen wir von *exhalativ-sedimentärer* Mineralbildung. Auch dabei können wirtschaftlich wichtige Mineralanreicherungen entstehen. Vor allem Roteisenstein- und Manganerze, aber auch sulfidische Erzlager mit Pyrit, Kupferkies, Zinkblende und Bleiglanz bilden sich auf diese Weise. Die bedeutende Lagerstätte des Rammelsberges bei Goslar und die Eisenerzvorkommen im Harz und im Lahn-Dill-Gebiet sollen – neben anderen Vorkommen – einen solchen Ursprung haben.

Anders als an der Erdoberfläche erstarren die mehr oder weniger wasserhaltigen Silikatschmelzen *innerhalb* der Erdkruste. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß in der Tiefe, wo größere Drucke und höhere Temperaturen herrschen, die leichtflüchtigen Bestandteile nicht ohne weiteres entweichen können. Bei höheren Temperaturen – im Durchschnitt steigt die Temperatur um 3°C pro 100 Meter Tiefenzunahme – kristallisieren die Schmelzen in der Erdkruste sehr langsam. Die Tiefengesteine haben deshalb meist einen Mineralverband, in dem die einzelnen Kristalle deutlich erkennbar sind. Ihr Gefüge ist vollkörnig-regellos, denn die verschiedenen Minerale konnten weitgehend ungestört und langsam wachsen. Das typische Gefüge eines Tiefengesteins zeigt der Granit (Abb. 1). Da es zwischen *Granit* und *Gabbro* alle nur denkbaren Übergänge gibt, wurde noch vor kurzem angenommen, daß sich die Mehrzahl der Tiefengesteine oder Plutonite aus einem Magma von der chemischen Zusammensetzung des Gabbros bildet. Indessen läßt sich auf einfache Weise berechnen, daß die großen Granitmengen nicht durch Sonderung einer Gabbroschmelze entstanden sein können. Vielmehr müssen wir annehmen, daß einer gabbroiden Schmelze weit aus größere Mengen eines granitischen Magmas gegenüberstehen, das durch Aufschmelzung fester Gesteine entstanden ist.

Welche Stufenfolge sich bei der Kristallisation einer Silikatschmelze ergibt, hängt entscheidend von deren chemischer Zusammensetzung ab. Wenn wir im folgenden die einzelnen Stadien der magmatischen Mineralbildung betrachten, dann müssen wir uns dessen bewußt sein, daß wir die natürlichen Vorgänge nur schematisch darlegen können.

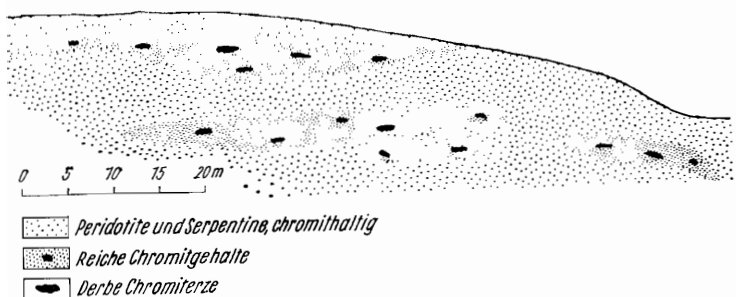
1. Magmatische Mineralbildung

In diesem Kapitel wollen wir uns mit der Entstehung von Mineralen direkt aus der Silikatschmelze befassen.

Sehr kieselsäurearme und heiße Schmelzen können bei Temperaturen von etwa 1500°C an in eine Silikat- und eine Sulfidschmelze entmischt werden. Dieser Vorgang heißt *liquid-magmatische Entmischung*. Er ist an tropfenförmigen Sulfidteilchen zwischen den Fe-Mg-Silikaten der dunklen Erstarrungsgesteine erkennbar. Nicht selten haben sich die in der Schmelze in geringer Konzentration enthaltenen Sulfide am Boden angereichert, indem die schwereren Sulfidschmelztropfen absanken. Nickelmagnetkies- und Kupferkieslagerstätten, die bei höheren Gehalten an Platin und Platinmetallen auch als Platinvorkommen wirtschaftliche Bedeutung erlangen, sind so entstanden.

Der Entmischung einer vorher einheitlichen Schmelze, die nur bei sehr kieselsäurearmen Magmen eine Rolle spielt, schließt sich die *Frühkristallisation* an. In diesem Stadium kristallisieren aus der Schmelze vor allem die Magnesium-Eisen-Silikate Olivin und Augit und unter Umständen ein kalziumreicher Plagioklas. Gleichzeitig werden oxydische Erzminerale (Chromit, Titanomagnetit und Ilmenit), Platinlegierungen und gelegentlich Fe-Cu-Sulfide abgeschieden. Die Minerale der Frühkristallisation sinken in der Schmelze ab und häufen sich örtlich zu ultrabasischen und basischen Tiefengesteinen an, in denen gelegentlich bauwürdige Mengen an Erzmineralen enthalten sind. Die in dieser Phase der Magmenerstarrung angereicherten Elemente ersehen wir – ebenso wie die in den folgenden Stadien konzentrierten chemischen Grundstoffe – aus der Tabelle S.136. Wie sich die oxydischen bzw. sulfidischen Erzminerale zu schlierenförmigen Lagerstätten zusammenschließen, dafür gibt die Abbildung 41 ein Beispiel. In diesem Fall ist aus einer kieselsäurearmen („ultrabasischen“) Schmelze neben reichlich

Abb. 41: Schlierenförmige Chromitanreicherungen in einem ultrabasischen Erstarrungsgestein, wie sie bei der magmatischen Frühkristallisation entstehen



Verteilung der Elemente auf die einzelnen Stadien der magmatischen Abfolge (SCHNEIDERHÖHN 1962)

Vertikalreihe des lang-periodischen Systems	Liquid-magmatische Entmischung und Frühkristallisation	Hauptkristallisation der Eruptivgesteine	Pegmatite	Pneumatolyte	Hydrothermale Mineralvorkommen
Ia		HNaKRb	HNaKCsLi	HLi	H
IIa	MgCa	MgCaSrBa	Be	Be	MgCaSrBa
IIIa			ScYLa	Sc	
IVa	Ti	TiZr	TiZr		
Va	V		NbTa	NbTa	
VIa	Cr		MoWU	MoW	WU
VIIa		Mn	Mn		Mn
VIIIa	FeCoNi RuRhPd OsIrPt	Fe		FeCoNi	FeCoNiPd
Ib	Cu			CuAu	CuAgAu
IIb				Zn	ZnCdHg
IIIb		Al	AlB	B	GaInTl
IVb	CSi	Si	SiCSn	SiCSn	SiCGeSnPb
Vb		P	P	PAsBi	AsSbBi
VIb	OS	O	O	OS	OSSeTe
VIIb			FCI	FCI	FCI

Olivin und etwas Augit das Erzmineral *Chromit* ausgeschieden worden. Durch Absinken des Chromits bildeten sich erzreiche Schlieren.

Im folgenden Stadium kristallisiert bei weiter sinkender Temperatur die Masse der Minerale, es entsteht der überwiegende Teil der Erstarrungsgesteine. Im Verlauf dieser als *Hauptkristallisation* bezeichneten Etappe sondern sich aus der Silikatschmelze in erster Linie die dunklen Silikate Augit, Hornblende und Biotit sowie die hellen Gemengteile Plagioklas, Orthoklas und Quarz ab.

Eine Beschreibung der Gesteine ist in diesem Buch nicht beabsichtigt, doch sollen die wichtigsten Erstarrungsgesteine genannt werden. Aus welchen Mineralen sie sich zusammensetzen, ist aus der Abbildung 42 ersichtlich. An Hand dieser Darstellung kann man Gesteine im Gelände grob bestimmen, falls sich ihre Gemengteile erkennen lassen.

Wenn die Feldbestimmung von Gesteinen in vielen Fällen durchführbar ist, dann verdanken wir das besonders zwei Umständen:

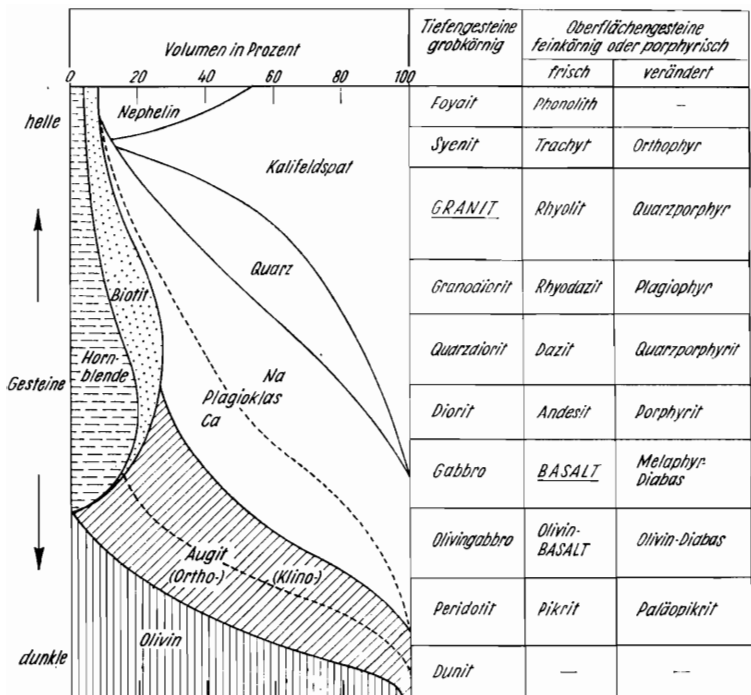


Abb. 42: Die wichtigsten magmatischen Gesteine

1. Am Gesteinsaufbau beteiligt sich eine verhältnismäßig geringe Zahl von Mineralen.
2. Die Silikatschmelzen kristallisieren gesetzmäßig, so daß nur bestimmte Minerale in den Gesteinen zusammentreten.

Die Abbildung 42 zeigt uns beispielsweise, daß es wohl Gesteine gibt, die aus Olivin, Augit und Plagioklas bestehen, andererseits jedoch keine Gesteine vorkommen, in denen Quarz und Olivin bzw. Nephelin und Quarz gemeinsam vorhanden sind. Gesteine mit reichlich hellen Bestandteilen führen als dunkle Minerale meist Biotit oder Hornblende oder beide, aber niemals Augit oder Olivin in größerer Menge.

Die Handstückbestimmung ist aus folgenden Gründen schwierig:

1. Nicht immer kann ohne Zuhilfenahme eines Mikroskops sicher zwischen Kalifeldspat und Plagioklas unterschieden werden. Als Anhaltspunkt sei die Tatsache erwähnt, daß plagioklasreiche Gesteine sich meist durch einen höheren Gehalt an dunklen Gemengteilen auszeichnen (Hornblende, Augit).

2. Die Gesteine werden mitunter nach dem Mineralchemismus abgegrenzt und nicht ausschließlich nach der Mengenbeteiligung der Minerale. Zum Beispiel wird die Grenze zwischen Diorit und Gabbro durch den Anorthitgehalt des Plagioklases bestimmt. (Enthält der Plagioklas weniger als 50 % Anorthitanteil, handelt es sich um Diorit, übersteigt die Anorthitkomponente 50 %, liegt Gabbro vor.) Die Mischkristallzusammensetzung des Plagioklases läßt sich mikroskopisch messen.
Für den Mineralsammler empfiehlt es sich, Gesteine mit Hornblende und Plagioklas als *Diorit* und solche mit Augit und Plagioklas als *Gabbro* zu bezeichnen. Eine genaue Bestimmung bleibt der Dünnschliffuntersuchung vorbehalten.
3. In vielen Ergußgesteinen sind die Gemengteile durch die schnelle Abkühlung und Kristallisation so klein, daß sie auch mit einer Lupe nicht oder nur schwer bestimmbar sind. Oft geben nur die Einsprenglinge in Verbindung mit der Farbe und Dichte der Grundmasse einen Hinweis, um welches Gestein es sich handeln kann. Erkennen wir z.B. in einer feinkörnigen bis dichten Grundmasse Einsprenglinge von Quarz und Feldspat, dann dürfte ein *Rhyolith* oder *Quarzporphyr* vorliegen. Sind in einer dichten, schwarzgrauen Masse olivgrüne Einsprenglinge von Olivin zu sehen, dann könnte es sich bei diesem Gestein um einen *Basalt* handeln.
4. Die Gesteine werden vereinbarungsgemäß abgegrenzt, und innerhalb eines Gesteins kann der Mineralbestand in festgelegten Grenzen schwanken. Ohne Mengenanalyse ist somit zwischen zwei Gesteinen nicht immer mit Sicherheit zu unterscheiden. Man kann ein Gestein erst dann eindeutig zuordnen, wenn der prozentuale Anteil seiner Hauptgemengteile ermittelt worden ist. Ein Beispiel möge das verdeutlichen: Granit und Granodiorit führen die gleichen Bestandteile, nur überwiegt im Granit der Kalifeldspat und im Granodiorit der Plagioklas. Solange wir das Verhältnis dieser beiden Minerale im Gestein nicht kennen (vgl. Punkt 1), ist zwischen Granit und Granodiorit nicht zu unterscheiden. Im Handstück bezeichnen wir deshalb alle hellen, regellos-körnigen Gesteine mit Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas und einem dunklen Gemengteil (Biotit, Hornblende) als Granite.

Aus den Ausführungen geht hervor, daß man zwischen einer vorläufigen Geländebezeichnung und einer exakten Benennung der Gesteine unterscheiden sollte, welche sorgfältige Untersuchungen voraussetzt. Leider wird in manchen Büchern der Eindruck erweckt, daß Gesteine schon im Geländeaufschluß genau bestimmt werden können. Das gilt jedoch nur für einige Haupttypen. Natürlich wird es meist nicht schwer sein zu entscheiden, ob ein Erstarrungsgestein, ein Absatzgestein oder ein Umwandlungsgestein vorliegt. Besondere Schwierigkeiten bereitet es, Erstarrungsgesteine näher zu bestimmen, zumal wenn es sich um dichte Gesteine ohne erkennbare Einsprenglingskristalle handelt.

Wir wollen uns nicht weiter mit der Klassifikation der Erstarrungsgesteine befassen. Die Übersicht der wichtigsten Tiefen- und Ergußgesteine (s. S. 137)

wird es uns im Verein mit den auf Tafel S.125 u. 127 abgebildeten Handstückproben ermöglichen, die vorherrschenden Erstarrungsgesteine zu erkennen.

2. Pegmatitisch-pneumatolytische Mineralbildung

Nach der Hauptkristallisation der Gesteinsschmelzen, als deren Ergebnis die Erstarrungsgesteine vorliegen, bleibt eine wasserreiche Restschmelze übrig. In dieser Schmelze haben sich neben Wasser und anderen leichtflüchtigen Stoffen (Fluor, Chlor, H_2S , CO_2 , SO_2) vor allem solche Elemente angereichert, die wegen ihrer zu kleinen oder zu großen Ionenradien nicht in die Kristallgitter der gesteinsbildenden Minerale eingebaut werden konnten. Da diese Restschmelzen aber noch gewisse Mengen Aluminium, Alkalien und Kieselsäure enthalten, können sich aus ihnen in geringerem Umfang auch Feldspäte und einige andere Silikate abscheiden, deren Hauptmassen jedoch in den Erstarrungsgesteinen zu finden sind.

Die Restschmelze erstarrt bei Temperaturen zwischen 700 und 350°C in Kontraktionsrissen des bereits vorher verfestigten Muttergesteins oder in Spalten des Nebengesteins. Auf Grund ihres hohen Gehalts an leichtflüchtigen Bestandteilen hat diese Schmelze besondere physikalisch-chemische Eigenschaften, die sich unter anderem im Größenwachstum der aus ihr abgeschiedenen Kristalle ausdrücken. Die Pegmatite (griech. pegma = der Rahmen, das Gefügte) sind grob- bis riesenkörnige Gesteine, in denen manche Minerale ein Gewicht von mehreren Zentnern, ja sogar Tonnen erreichen können. Die in vielen Sammlungen vertretenen riesigen Quarzkristalle oder Feldspäte entstammen solchen Pegmatiten. Aber auch Korunde, Berylle und einige weitere Minerale bilden unter den Bedingungen, wie sie bei der Erstarrung der dünnflüssigen Pegmatitschmelzen herrschen, außergewöhnlich große Kristalle. Wo Hohlräume mit hochgespannten Gasen gefüllt waren, konnten die Kristalle weitgehend ungestört wachsen, so daß sie neben ihrer abnormen Größe oft eine ausgezeichnete Kristallgestalt aufweisen. Die besondere Bedeutung der pegmatitischen Mineralbildung liegt darin, daß sich während dieser Phase viele Grundstoffe anreicherten, die in den Silikatschmelzen nur in Spuren vorhanden sind. Es handelt sich um Beryllium, Bor, Lithium, Zäsium, Uran, Thorium, Hafnium, Niob, Tantal u. a. Sie bilden hier, von wenigen Ausnahmen abgesehen, eigene Minerale und lassen damit die Pegmatite zu Lagerstätten technisch wichtiger Rohstoffe werden. Welche Elemente im einzelnen bei der pegmatitisch-pneumatolytischen Mineralbildung angereichert werden, können wir der Tabelle S. 136 entnehmen. Die von diesen Elementen hauptsächlich gebildeten Minerale zeigt uns folgende Zusammenstellung (siehe S. 140).

Aber nicht nur als Rohstoffquellen seltener chemischer Grundstoffe, sondern auch als Edelsteinlieferanten und als Fundstätten von Industriemineralen sind die Pegmatite bedeutungsvoll. Die Edelsteine Turmalin, Topas, Rosenquarz und Beryll entstammen größtenteils Pegmatitgängen. Es wird berichtet, daß in Südbrasilien im Jahre 1910 ein zartblauer Aqua-

Die wichtigsten Minerale des pegmatitisch-pneumatolytischen Bildungsbereiches (nach HILLER 1962)

Element	Minerale
Bor	Turmalin, Dumortierit
Lithium	Zinnwaldit, Spodumen, Petalit, Amblygonit, Triphylin
Zäsium	Polluzit
Rubidium	Lepidolith
Beryllium	Beryll, Phenakit, Euklas, Gadolinit, Chrysoberyll
Seltene Erden	Thortveitit, Monazit, Xenotim
Fluor	Fluorit, Yttrifluorit, Kryolith, Topas
Zirkonium	Zirkon
Thorium	Thorit
Titan	Rutil, Ilmenit
Niob	Niobit
Tantal	Tantalit, Fergussonit, Samarskit
Zinn	Zinnstein
Wolfram	Wolframit, Scheelit
Molybdän	Molybdänglanz
Uran	Uraninit

marinkristall mit einem Gewicht von 100 Kilogramm gefunden wurde, der den Bedarf an diesem schönen Edelstein für drei Jahre deckte. In vielen Schmuckstücken befinden sich Teile dieses Kristalls.

Technisch wichtige Minerale der Pegmatite sind Kalifeldspat, der in der keramischen Industrie in großen Mengen benötigt wird, aber auch Apatit und Muskovit. Apatit wird in der Düngemittelindustrie weiterverarbeitet, und große Muskovittafeln, wie sie ausschließlich in Pegmatiten auftreten, braucht die Elektrotechnik.

Die Restschmelzen weisen einen hohen Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen auf, sie haben daher einen beträchtlichen Innendruck. Wenn die flüchtigen Stoffe nicht entweichen können, kristallisieren bei langsamer Abkühlung die Pegmatite. Reißen jedoch plötzlich Spalten auf oder ändert sich der auf diesen Restschmelzen lastende Außendruck in anderer Weise unvermittelt, dann sieden die leichtflüchtigen Bestandteile ab und durchdringen dabei das Mutter- oder Nebengestein. Die Gase führen verschiedene Stoffe mit, die mit dem Nebengestein reagieren. Auf diese Weise entstehen *pneumatolytische Bildungen* (griech. *pneuma* = Gas, *lyein* = lösen). Wir können uns vorstellen, daß in einer Gesteinsschmelze Spuren von Zinn enthalten sind. Weder in den Mineralen der Fröhkristallisation noch in denen der Hauptkristallisation kann dieses Element restlos untergebracht werden. Es reichert sich somit in der Schmelze an. Wenn z. B. im Verlauf der Hauptkristallisation ein Granit entstand, verbleibt ein Schmelzrest, der neben Wasser, Kohlen- und Flußsäure unter anderem Zinn enthalten kann. Beim Absieden der leichtflüchtigen Bestandteile aus dieser Restschmelze wird das Zinn als Fluorid SnF_4 mitgeführt. Es scheidet sich aber bald als schwerlösliches Oxid nach folgender Reaktionsgleichung ab:

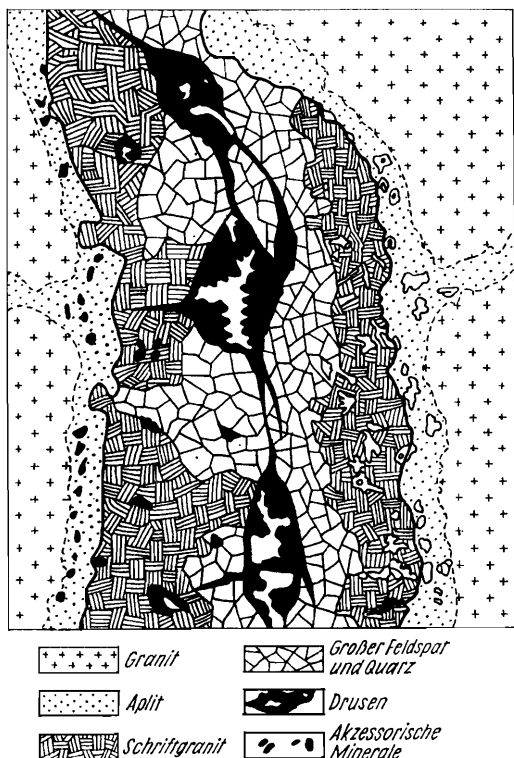
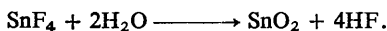
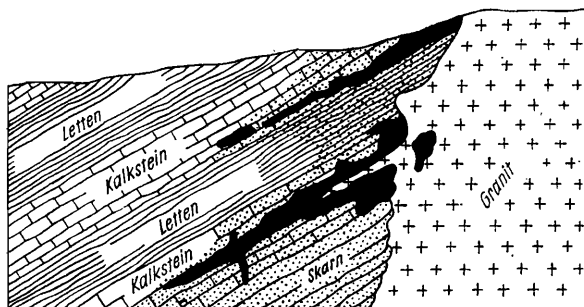


Abb. 43: Typische Ausbildung eines Pegmatitganges (Mursinka, Ural). Der Pegmatitkörper sitzt in einem Granit, der einen feinkörnigen Saum ausbildete (Aplit). Am Rande des Pegmatits sind die beiden Minerale Kalifeldspat und Quarz miteinander verwachsen = Schriftgranit. Die innere Zone wird von großkörnigem Feldspat und Quarz eingenommen. In dieser Zone hinterließen die vormals gasgefüllten Hohlräume sogenannte Drusen, in denen ebenflächig begrenzte Kristalle vorkommen.



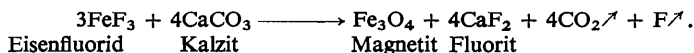
Zinnfluorid und Wasser reagieren also miteinander und bilden das Mineral Zinnstein SnO_2 und Flußsäure. In ähnlicher Weise entstehen auch andere schwerlösliche Oxide, vor allem große Mengen an Quarz. Die aus der chemischen Umsetzung hervorgegangene Flußsäure ist sehr aggressiv. Sie zersetzt die Feldspäte in den Gesteinen, die von pneumatolytischen Lösungen durchdrungen werden. Pneumatolytische Bildungen sind aus diesem Grunde feldspatfrei. Sie enthalten als Mineralneubildungen nicht selten



Magnetiterte

Abb. 44: Pneumatolytische Lösungen sind bei der Erstarrung der Granitschmelze frei geworden und haben Kalkstein zu Magnetiterte bzw. Skarn, einer dichten Eisensilikatmasse, umgewandelt. Wenn – wie in diesem Falle – Erzlager durch Verdrängung eines Kontaktgesteins entstehen, sprechen wir von kontaktpneumatolytischen Lagerstätten. (Schematisches Profil nach BETECHTIN 1964)

Zinnstein, Molybdänglanz, Wolframit, Quarz, Turmalin und Topas. Die bekannten Zinn- und Wolframlagerstätten des sächsischen Erzgebirges rechnen dazu (Altenberg, Zinnwald, Ehrenfriedersdorf, Sadisdorf, Geyer u. a.). Wie bei allen pneumatolytischen Mineralvorkommen unterscheiden wir auch dort zwischen unregelmäßig begrenzten *Greisenkörpern* und *Pneumatolytgängen*. Die von alters her als Greisen bezeichneten Gesteine entstanden, indem die absiedenden Gase sich ihren Weg durch die Poren des Granits oder seines Nebengesteins bahnten, wobei es zu Mineralumwandlungen und zur Imprägnation mit Zinnstein kam. Dagegen bildeten sich Gänge mit den Erzmineralen Zinnstein, Molybdänglanz und Wolframit, wenn die Gase entlang von Klüften und Spalten im Gestein absiedeten. In einigen Fällen reagieren die heißen Restlösungen der Schmelze unmittelbar mit dem Nebengestein. Am häufigsten geschieht das, wenn eine Restschmelze mit Kalksteinen in Berührung kommt. Es können dann z.B. Eisenerzlagerstätten durch folgende Stoffumsetzung entstehen:



Kohlendioxid CO_2 und Fluor F verschwinden als gasförmige Komponenten, so daß aus dem ursprünglichen Kalkstein durch Verdrängung ein Magnetiterte entstanden ist (s. Abbildung 44).

In den pneumatolytischen Mineralvorkommen sind nicht alle Rohstoffminerale wahllos vereinigt, vielmehr gibt es Lagerstätten mit Zinn, Wolfram und Molybdän und andere, in denen Gold, Kupfer, Blei, Wismut oder Kobalt angereichert wurden. In kontaktpneumatolytischen Erzvorkommen finden wir vor allem Eisen, Gold, Blei, Zink, Kupfer, Zinn und Wolfram.

3. Hydrothermale Mineralbildung

Bei Temperaturen zwischen 400 und 350°C gehen die Restschmelzen bzw. die pneumatolytischen Dämpfe in heiße wäßrige Lösungen über. Damit beginnt das letzte Stadium der magmatischen Mineralbildung. Die heißen Wässer, die in der Tiefe unter einem beträchtlichen Druck stehen, enthalten neben Kohlendioxid CO_2 und Schwefelwasserstoff H_2S geringe Mengen an Schwermetallen, aber auch etwas Kieselsäure und Erdalkalimetalle. Wir müssen bedenken, daß eine Gesteinsschmelze von granitischer Zusammensetzung beträchtliche Wassermengen freisetzt. Diese Wässer durchströmen Klüfte und Spalten im Gestein, dabei entfernen sie sich immer weiter vom Ursprungsort und kühlen allmählich ab. Mit sinkender Temperatur wird ihr Lösungsvermögen geringer, so daß die in ihnen enthaltenen Stoffe auskristallisieren. Die Spalten und andere Hohlräume, in denen solche heißen Wässer zirkulieren, werden nach und nach mit Mineralsubstanz ausgefüllt. Derartige mineralgefüllte Spalten, die in mehr oder weniger großer Entfernung vom Erstarrungsraum der Gesteinsschmelzen angetroffen werden, nennen wir *hydrothermale Gänge* oder, wenn sie nutzbare Minerale führen, *hydrothermale Erzgänge*. Mineralbildungen aus heißen wäßrigen Lösungen finden wir jedoch nicht nur in Gängen, sondern gelegentlich auch in Gesteinshohlräumen (Drusen).

Fast alle Granite sind von sogenannten Gangzonen mit hydrothermal gebildeten Mineralfüllungen umgeben. In der DDR kommen sie vor allem im Erzgebirge und im Harz vor. Vom Mittelalter bis in die Gegenwart haben solche Gangzonen einen wirtschaftlich bedeutsamen Bergbau ausgelöst. Während in früheren Zeiten vor allem Silber- und Eisenerze abgebaut wurden, hat man später auf die Gewinnung von Blei, Zink, Nickel, Kobalt, Wismut und Uran Wert gelegt. In den Gesteinsspalten, in denen heiße Wässer zirkulierten, haben sich die kristallisierenden Minerale oft gut entwickeln können. Eine beträchtliche Anzahl der in den großen Sammlungen vertretenen Schaustücke mit den verschiedensten Erzmineralen und Nichterzen – der Fachmann bezeichnet letztere als „Gangart“ – entstammt solchen Gängen. Mitunter ist es sogar möglich, die Kristallisationsfolge herauszufinden. Wir müssen zu diesem Zweck feststellen, welche Minerale sich entsprechend den verschiedenen hydrothermalen Bildungsphasen vom Rand des Ganges, dem sogenannten Salband, bis zur Mitte übereinander abgeschieden haben. Es ist durchaus möglich, daß ein Mineral als „Durchläufer“ während der einzelnen Abscheidungsphasen weitergewachsen ist, wie wir es in der Abbildung 45 an den langsäuligen Quarzen sehen. Sie sind auf dem Salband angewachsen, reichen jedoch bis in die Mitte des Ganges. Im übrigen sind in diesem Gang nacheinander silberreiche Zinkblende, Manganspat, Bleiglanz und Kalzit kristallisiert.

Während der Entstehung hydrothermaler Gänge sondern sich meist die Elemente ab, die in den wäßrigen Lösungen als Alkali- und Polysulfide enthalten sind. Manche Elemente scheiden sich in Gestalt von Sulfiden und verwandten Verbindungen bereits bei sehr hohen Temperaturen ab, andere

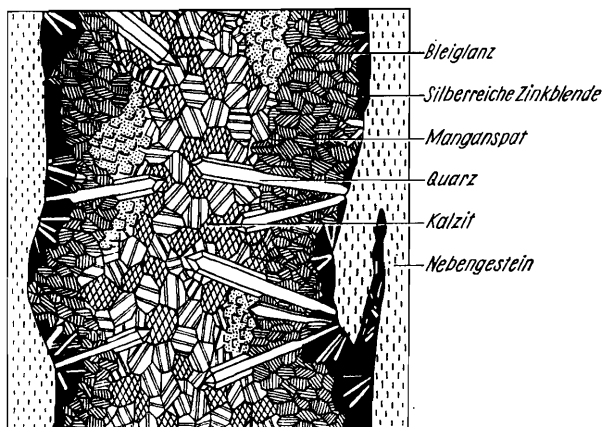


Abb. 45: Beispiel für eine hydrothermale Mineralbildung in einem Erzgang von Freiberg (Sachsen). Die Bildungsfolge der Minerale vom Rand bis zur Gangmitte ist gut abzulesen. (Aus NIGGLI 1948, schematisiert nach MAUCHER)

wandern bis in größere Entfernungen vom Schmelzherd und kristallisieren ebenfalls als Sulfide, Arsenide usw. aus sehr stark verdünnten wäßrigen Lösungen von niedriger Temperatur. Der Lagerstättenforscher bezeichnet deshalb die hydrothermalen Gangfüllungen nach ihrer Entfernung vom Stammagma und nach der Temperatur der wäßrigen Lösungen. Er spricht zum Beispiel von *telemagmatischen* Gängen (griech. tele = fern), wenn sich die Minerallösungen sehr weit vom Stammagma entfernt haben. Im Gegensatz hierzu nennt er hydrothermale Lagerstätten, die randlich an Tiefengesteinskörper gebunden sind, *perimagmatisch* (griech. peri = nahe bei). Im Hinblick auf die Temperatur der Lösungen trennt er zwischen einem hochhydrothermalen Stadium (400 bis 200 °C) und einem tiefhydrothermalen Stadium (200 bis 90 °C). Ihm ist bekannt, daß manche Mineralgemeinschaften nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen entstehen können, so daß er aus seinen Beobachtungen die Bildungstemperatur ableiten kann. Wir beabsichtigen nicht, die aus Naturbeobachtungen, Experimenten und Berechnungen gefundenen Gesetzmäßigkeiten näher zu besprechen. Eine einfache Skizze soll uns indessen verdeutlichen, wie sich die Elemente um eine erstarrte Silikatschmelze granitischer Zusammensetzung im Idealfall verteilen (Abb. 46). In der Nachbarschaft des Granits und der von ihm ausgehenden Gänge stoßen wir innerhalb des schraffierten Bereichs auf Mineralabsätze aus pneumatolytischen Dämpfen. Dort entstanden Minerale der Elemente, die mit ihren chemischen Symbolen eingezeichnet sind (Abb. 46). Außerhalb der schraffierten Zone kristallisierten aus wäßrigen Lösungen Kupfer-, Uran-, Wismut-, Kobalt- und Nickelerze. In größerer Entfernung

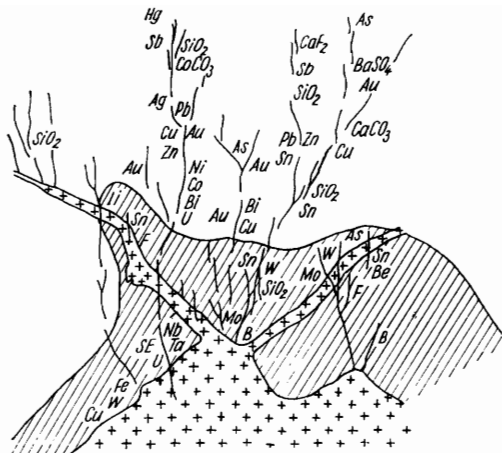


Abb. 46: Schematische Darstellung der Elementverteilung um einen in der Tiefe erstarrten granitischen Schmelzfluß. Der Granitkörper und die von ihm ausgehenden Granitgänge sind durch Kreuzsignatur angedeutet. Innerhalb der schraffierten Zone siedelten sich pneumatolytische, außerhalb hydrothermale Mineralbildungen an. (Nach BETECHTIN 1964)

entstanden Blei-Zink-Silber-Erze, während die Elemente Antimon und Quecksilber am weitesten gewandert sind und erst in den letzten Ausläufern der Erzgänge auftreten. Einige Elemente (z.B. Arsen As, Gold Au) können sowohl bei hohen als auch bei niedrigen Temperaturen Minerale bilden.

Schließlich treten Schwermetallminerale ganz zurück, und die Spalten werden nur noch von Gangartmineralen, wie Fluorit, Baryt, Witherit oder/und Quarz ausgefüllt. Auch die Vorkommen dieser „erzfreien Formation“ haben zum Teil wirtschaftliche Bedeutung. So wird Fluorit im Harz, im Thüringer Wald und im Vogtland in reichlichen Mengen gewonnen. Dieses Mineral gelangt als „Säurespat“ zur Darstellung von Flußsäure in die chemische Industrie. Ein anderer Teil wird als „Hüttenspat“ in Stahl- und Metallhütten und Eisengießereien benötigt. Baryt wird ebenfalls im Harz und im Thüringer Wald abgebaut und der Industrie zugeführt.

Natürlich bilden sich Minerale aus wäßrigen Lösungen nicht immer so einfach, wie wir es hier dargestellt haben. In der Nachbarschaft vieler Granitkörper sind die in der Abbildung 46 eingezeichneten Elemente nicht vollständig vertreten. Andererseits können die heißen Wässer auch Stoffe aus dem Nebengestein auslaugen und an anderer Stelle wieder absetzen. Gewisse Elemente, wie zum Beispiel Selen, entstammen vermutlich nicht der erstarrenden Silikatschmelze, sondern dem von heißen Lösungen durchdrungenen Nebengestein der Gänge. Schließlich können mit Eisen beladene Lösungen ganze Kalksteinschichten in Siderit FeCO_3 oder Hämatit Fe_2O_3

umwandeln. Das berühmteste Vorkommen dieser Art ist der Erzberg bei Eisenerz/Steiermark. Obgleich dort seit vielen Jahren gewaltige Mengen Eisenerz im Tagebau gewonnen wurden (1950 1,6 Millionen Tonnen), sind in diesem „Eisenberg“ noch riesige Vorräte – einige hundert Millionen Tonnen – vorhanden. Ganz ähnliche, nur viel kleinere Sideritlagerstätten sind entlang den Nordrandspalten des Thüringer Waldes aus Zechsteinkalken hervorgegangen (Kamsdorf bei Saalfeld).

Das Schema der Elementverteilung um einen Granitkörper verdeutlicht uns, daß die in den verschiedenen Stadien der magmatischen Abfolge entstandenen Kristallgemeinschaften meist räumlich voneinander getrennt auftreten. In den Hohlräumen (Drusen) von Graniten sind sie jedoch ausnahmsweise unmittelbar nebeneinander zu finden. An einer einzigen Probe können wir somit die ganze Abfolge modellhaft studieren. Als die Granitschmelze abkühlte und erstarrte, blieben pegmatitisch-pneumatolytische Restlösungen übrig und bildeten „Blasen“, die nicht entweichen konnten. Am Rande dieser Blasen wuchsen zuerst pegmatitisch-pneumatolytische Minerale auf den Granit auf. Sie wurden dann, wenn bei weiter sinkender Temperatur eine wäßrige Lösung entstand, von hydrothermalen Mineralen überzogen. In den Granitsteinbrüchen des Harzes finden wir Drusenkristallräume mit den gut ausgebildeten pegmatitisch-pneumatolytischen Mineralen Rauchquarz, Orthoklas, Magnetit und Turmalin. Diese wurden von Fluorit, Epidot, Pumpellyit, Chabasit und Desmin, die später aus wäßrigen Lösungen kristallisierten, überwachsen. Während der Granit aus der Hauptkristallisation hervorgegangen ist, haben in seinen Drusen alle nachfolgenden magmatischen Stadien ihren Niederschlag gefunden.

Den Sammler wird es interessieren, welche Minerale er innerhalb der magmatischen Abfolge im wesentlichen erwarten kann. Wenn wir von den bereits erwähnten gesteinsbildenden Mineralen einmal absehen, dann sind es die in dem folgenden Schema genannten und ihrem jeweiligen Bildungsbe-
reich zugeordneten Mineralarten (siehe S. 147). Die horizontale Erstreckung zeigt uns, in welchen magmatischen Phasen die Minerale erscheinen. Die Stärke der Striche läßt uns erkennen, in welchen Phasen die Minerale jeweils im größten Umfang gebildet werden.

Die sedimentäre Abfolge

Die an die Erdoberfläche gelangten Gesteine sind verschiedenen atmosphärischen Faktoren (Regen, Wind, Sonnenstrahlung) ausgesetzt. Unter diesen Bedingungen erweisen sich viele Minerale, die in größerer Tiefe bei entsprechend höheren Drücken und Temperaturen gebildet wurden, als unbeständig. In Erdoberflächennähe unterliegen die Gesteine deshalb Veränderungen, deren Gesamtheit wir als *Verwitterung* bezeichnen. Auch feste und widerstandsfähige Gesteine werden mit der Zeit zersetzt und teilweise gelöst. Eine besondere Rolle spielt dabei das Wasser mit den in ihm enthaltenen Stoffen CO_2 (Kohlendioxid), O_2 (Sauerstoff), NO_3^- (Nitrationen)

	Liquidmagmatisch		Pegmatitisch - Pneumatolytisch			Hydrothermal				
	Eruptiv-Gesteine	Erzlagerstätten	Pegmatite	Schwermetallpneumatolytisch	Zinnsteinpneumatolytisch	Turmalin-Quarz-gänge	Gruppe der Kies-Gold-Lagerstätten	Gruppe der Pb-Zn-Ag-Lagerstätten	Gruppe der Ni-Co-Ag-Lagerstätten	Gruppe der Sb-Hg-Lagerstätten
Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh		Gediegen, Sperryolith								
Cr		Chromit, Chromspinel								
Ni		Pentlandit, Magnetkies, selten Ni-Arsenide							Ni-Arsenide usw.	
Vd										
Ti		Perowskit, Titanit, Ilmenit, Ti-Silikate, Ti-Al-Silikate, Rutil			vorwiegend Rutil					
P		Apatit	Verschiedene Phosphate							
Cl		Sodalith, Skapolith, Apatit	tritt in Skapolith ein							
Selt. Erden, Sc, Y, La, Ce		Silikate, Zr-Silikate, Niobate, Phosphate								
Nb, Ta		Tantalate, Niobate, mit Titanaten								
Zr, Th	Zirkon	Zirkon, Zr-Silikate								
Li (Rb, Cs)		Li-Silikate und Phosphate								
Be		vorwiegend Beryll								
B		Turmalin, B-Silikate, Borate			Turmalin					
Sn				Kassiterit	Zinnkies					
Ge				Ge-Sulfosalze						
Mo				Molybdänit			Wulfenit			
W				Wolframit und Scheelit						
Bi (U)				Wismut und Wismutglanz	Uranpnechert				Ged. Wismut	
Cu				Kupferkies		Kupferkies, As-Sb-Sulfosalze				
As				Arsenikies		Cu-Sulfosalze			Realgar	
Au				Gediegen, Sulfide	Telluride					
Te					vorwiegend mit Gold					
Se					vorwiegend mit Gold					
Zn (Cd, Ga, In)					Zinkblende					
Pb					Bleiglanz		Sulfosalze			
Ag						in Kiesen, gediegen, Silberglanz, As-Sb-Sulfosalze, ged. Silber				
Sb						Antimontahlerz			Antimonit	
Co		In-Sulfiden			Kobaltglanz				Co-As-Erze	
Ba						Baryt, Witherit				
Sr						Strontianit, Zäesit				
CO ₂		f. Karbonate selt. Erden				verschiedene Karbonate			Kalkzit	
Hg						spärlich in Sulfosalzen				Zinnober
Tl										

Die Anreicherung der Elemente in der magmatischen Abfolge und die von ihnen gebildeten Minerale (nach P. NIGGLI)

und SO_4^{--} (Sulfationen), die entweder der Atmosphäre oder zerstörten Organismen entstammen. Eine ganze Reihe von Mineralen wandeln sich unter dem Einfluß des Wassers zu neuen Mineralen um, wobei bestimmte chemische Elemente als Ionen in Lösung gehen und mit dem fließenden Wasser fortgeführt werden. Bei dieser Umbildung werden nicht nur die verhältnismäßig leicht löslichen Alkali- und Erdalkalielemente abtransportiert, sondern auch gewisse Teile des im Ausgangsmaterial vorhandenen Aluminiums und Siliziums. Von den häufigen Mineralen erweist sich nur Quarz als fast unveränderlich. Unzersetzte Feldspäte und andere gesteinsbildende Silikate werden lediglich bei schneller Abtragung fortgeschafft.

Neben der soeben beschriebenen *chemischen Verwitterung* unterliegt das Gesteinsmaterial einer ständigen Zerkleinerung durch Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche, durch Frostsprengung und durch Transport im fließenden Wasser oder in der Brandungszone des Meeres. Diese *physikalische Verwitterung* schafft neue Angriffsflächen für das lösende Wasser und unterstützt somit die chemische Verwitterung in wirkungsvoller Weise. Die sedimentären Bildungen lassen sich in zwei große Gruppen unterteilen:

1. Der nicht gelöste Verwitterungsrückstand wird entweder am Ort der Gesteinszersetzung oder nach einem Transport durch Wasser, Eis oder Wind wieder abgesetzt. Mit dem Transport ist häufig eine Klassierung, d. h. eine Trennung nach der Korngröße, verbunden. Mineralneubildungen spielen hier keine große Rolle. Da es sich um einen Absatz mechanisch zerkleinerter Trümmer des Ausgangsgesteins handelt, sprechen wir von *mechanischen oder klastischen Sedimenten*.
2. Die im Wasser gelösten Stoffe werden am Verwitterungsort oder nach einem Transport über kleinere oder größere Entfernungen wieder ausgeschieden. Die Abscheidung kann durch Organismen, aber auch durch Verdunsten des Wassers und andere Vorgänge bewirkt werden. Es findet eine Neubildung von Mineralen statt. Wir sprechen von *chemischen und chemisch-biogenen Sedimenten*.

In ihrem ursprünglichen Zustand sind die Bildungen beider Gruppen locker. Durch Absinken in geringe Tiefen und Überlagerung mit jüngerem Material werden sie zu *Sedimentgesteinen* verfestigt. Das geschieht durch Wasserabgabe, durch Mineralabscheidung aus zirkulierenden Lösungen, durch Kristallisation gelförmiger Bestandteile des Sediments und schließlich durch Kornvergrößerung („Sammelkristallisation“). Es können zum Beispiel Wasser, die CaCO_3 gelöst enthalten, durch einen Sand sickern. Währenddessen scheidet sich das Kalziumkarbonat aus und verkittet die einzelnen Sandkörner miteinander. Aus dem lockeren Sand entsteht auf diese Weise ein Sandstein mit kalkigem Bindemittel.

Es wird zweckmäßig sein, wenn wir die wichtigsten Absatzgesteine der beiden oben genannten Gruppen und die mit ihnen verbundenen Mineralagerstätten kurz besprechen.

1. Die mechanischen Sedimentgesteine

Diese Gesteine bauen sich, wie bereits erwähnt, aus dem chemisch widerstandsfähigen Verwitterungsrest des Ausgangsmaterials auf. Man bezeichnet sie gelegentlich auch als *Trümmergesteine*. Nur wenn das Material nicht weit verfrachtet oder vom Eis transportiert wurde, finden sich alle Korngrößen nebeneinander. Wo hingegen Wasser oder Wind die Massen fortführte, wurden sie nach der Korngröße an verschiedenen Stellen abgelagert. Eine Unterteilung nach der Korngröße liegt der Gliederung dieser Gesteinsgruppe zugrunde. Erst in zweiter Linie interessiert die mineralische Zusammensetzung. Sie gibt den Ausschlag für die Benennung eines speziellen Gesteins. So heißen alle mechanischen Absatzgesteine, deren Mineralteilchen zwischen 2 und 0,02 mm groß sind, *Sandsteine*. Nach dem Mineralbestand unterscheiden wir *Quarzsandstein*, feldspatreiche *Arkosen*, meist schlecht klassierte und an kleinen Gesteinsbruchstücken reiche *Grauwacken* usw. Auch die Art des Bindemittels wird bei der Benennung berücksichtigt, indem kalkige, kieselige, tonige oder limonitische Sandsteine unterschieden werden. Es würde zu weit führen, hier die einzelnen Gesteinstypen zu besprechen. Wir wollen aber die Haupteinteilung kennenlernen, die in der folgenden Tabelle enthalten ist (s. Seite 150).

Durch verringerte oder gesteigerte Transportkraft wechsellagern oft mehr oder weniger fein- oder grobkörnige Absatzgesteine. Auch können den mechanischen Absatzgesteinen chemische Sedimente zwischengeschaltet sein. Das abgelagerte Material bildet Schichten mit zumeist geringer vertikaler und großer horizontaler Erstreckung. Diese „Schichtung“ ist ein wichtiges Merkmal der Absatzgesteine. Es gibt jedoch auch schichtungslose Sedimente, wie den mit großen Blöcken durchsetzten, vom Eis abgelagerten „Geschiebemergel“.

Einige mechanische Sedimente sind wichtige Rohstoffe. Sehr reiner Quarzsand, der ca. 99,9% Kieselsäure und nur sehr wenig Eisen- und Aluminiumoxid enthält, wird als *Glassand* zur Herstellung klarer Gläser verwendet. Größere Bedeutung haben Anreicherungen von Erzmineralen und Edelmetallen in mechanischen Sedimenten oder als Verwitterungsrückstand. Liegen bauwürdige Mineralansammlungen vor, dann sprechen wir von *Seifen*. Die in ihnen enthaltenen „Seifenminerale“ zeichnen sich durch große chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit und hohe Dichte aus. Der Entstehung nach unterscheiden wir Rückstandsseifen, Flußseifen und Meeresseifen. Bei den Rückstandsseifen verblieben die schweren Bestandteile am Verwitterungsort, während die leichteren Minerale ausgewaschen wurden. Flußseifen entstanden, indem sich die schweren Minerale an Stellen absetzten, wo sich die Transportkraft des fließenden Wassers verringerte. Nach und nach sammeln sich die schweren Minerale dann in den unteren Sand- oder Geröllschichten eines Flusses an. Die Bildung dieser Seifen setzt natürlich voraus, daß die Gesteine des Liefergebietes wirtschaftlich nutzbare Minerale führen. Meeresseifen beziehen ihr Material aus dem am Steilufer abbrechenden Gestein oder aus Flußsanden, die in das Meer gelangen. Ihr

Die häufigsten mechanischen Absatzgesteine

Korngrößenbereich, weitere Merkmale	Sedimente (lose)	Sedimentgesteine (verfestigt)
1. Teile über 2 mm $\varnothing$ a) nicht oder nur über geringe Entfernung transportiert; eckige Gesteinstrümmer b) verfrachtetes Material; Bestandteile gerundet. Nach abnehmender Größe ↓	<i>Schutt</i> <i>Blockwerk</i> <i>Geröll</i> <i>Kies</i>	<i>Brekzie</i> <i>Konglomerat</i>
2. Teilchen zwischen 2 und 0,02 mm $\varnothing$ immer verfrachtet und meist gerundet. Nach abnehmender Korngröße ↓	<i>Grus</i> <i>Sand</i> <i>Schluff</i>	<i>Sandstein</i> (<i>Arkose</i> = reichlich Feldspat) (<i>Grauwacke</i> = mit Gesteinsbruchstücken und Feldspat)
3. Teilchen kleiner als 0,02 mm transportierte und abgesetzte Verwitterungsreste und -neubildungen mit organischen Beimengungen seltener → Windtransport →	<i>Schlick, Schlamm</i> entwässert: <i>Ton</i>, kalkhaltig: <i>Mergel</i> <i>Kalkschlamm</i> <i>Löß</i>	<i>Tongestein</i>, <i>Schieferton</i>
4. Weitgehend unklassiert (alle Korngrößen umfassend) Eistransport →	<i>Geschiebemergel</i>	<i>Tillit</i>
5. Mechanische Gesteine magmatischer Herkunft Teile größer als 32 mm $\varnothing$ Teile zwischen 32 und 4 mm $\varnothing$ Teile kleiner als 4 mm $\varnothing$ vermischt mit Sediment	<i>vulkanische Bomben</i> <i>Lapilli</i> <i>vulkanische Asche</i>	<i>Agglomerat</i> (Bomben in Tuffmasse) <i>Lapillituffe</i> (Lapill in Tuffmasse) <i>Tuffe</i> <i>Tuffite</i>

Werdegang läßt sich am Strand der Ostsee gut beobachten. Dort reichern sich auf der Strandspülfläche im Wechselspiel von Schwall und Sog (auflaufende bzw. ablaufende Welle) die schweren Minerale als dünne, dunkle Streifen an. Wenngleich sie kaum wirtschaftliche Bedeutung erlangen, so geben sie doch ein Bild von der Erscheinungsweise mariner Seifen. Minerale der *Edelsteinseifen* sind vor allem: *Rubin* und *Saphir* als Farbabarten des Minerals *Korund*; ferner *Zirkon*, *Topas*, *Spinell*, *Granat*, *Beryll*, *Turmalin* und *Diamant*.

Große wirtschaftliche Bedeutung haben *Erzseifen* mit den Mineralen *Gold*, *Platin*, *Zinnstein*, *Zinnober*, *Ilmenit*, *Magnetit*, *Chromit*, *Rutil*, *Zirkon* und *Monazit*. Etwa 90% der Platinproduktion entstammen den Platinseifen des Urals. Zinnseifen, wie sie im Mittelalter als Flußseifen auch im sächsischen Erzgebirge stellenweise abgebaut wurden, liefern noch heute einen großen Teil des Zinns. In Malaya, Indochina, Siam und auf den Inseln Bangka, Billiton und Singkep werden sie aufgearbeitet. Da es sich um lockere Massen handelt, die sich leicht gewinnen lassen, gehen die bauwürdigen Gehalte bis zu 5 bis 10 g/t Zinn herunter. Magnetit- und Ilmenitsande kommen an vielen Meeresküsten vor. Die Lagerstätten sind nicht selten mehrere hundert Kilometer lang und viele Meter mächtig. So enthalten manche Strandsande an der atlantischen Küste Argentiniens etwa 40% Eisen- und 11% Titanoxid. Ähnliche Vorkommen sind von Indien, Brasilien, Neuseeland und der italienischen Westküste bekannt. Bereits seit 1884 werden Monazitseifen für die Gewinnung des Elements Thorium und in zunehmendem Maße für die Darstellung der Zerberden abgebaut. Auch Zirkonium, ein für die Kerntechnik wichtiges Element, wird größtenteils aus Seifen mit einem Gehalt bis zu 35% Zirkon gewonnen (z.B. an der Küste von Neusüdwaes). Häufig haben sich in den Seifen mehrere Rohstoffminerale angesammelt.

2. Die chemischen und chemisch-biogenen Sedimentgesteine

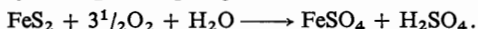
Die mechanischen Absatzgesteine bestehen zum größten Teil aus den gleichen Mineralen wie die Ausgangsgesteine, deren Verwitterungsprodukte sie darstellen. Sie haben also die Minerale des ursprünglichen Materials chemisch unverändert übernommen. Eine Ausnahme bilden nur die in der feinsten Trübe der Gewässer mitgeführten Teilchen, soweit sie umgewandelt wurden.

Ganz anders verhält es sich bei den chemischen Absatzgesteinen. Deren Mineralbestand ist zum überwiegenden Teil oder ausschließlich neugebildet worden. Chemische Vorgänge führen schon im Verwitterungsbereich zu Mineralzerstörungen und -ausscheidungen.

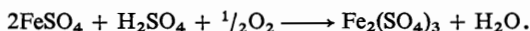
Von klimatischen Bedingungen und vom Tempo der Verwitterung hängt es ab, ob sich beim Verwitterungsprozeß neue Minerale bilden. So werden bei rascher Verwitterung und schneller Abtragung eines Granits neben praktisch unzersetzbarem Quarz auch die Feldspäte weggeführt. Bei der anhaltenden chemischen Beanspruchung im warmfeuchten Klima indessen

stätten die zersetzende Kraft der Niederschläge auswirken konnte, sind oft zwei Zonen mit Mineralneubildungen zu unterscheiden. In der Zone über dem Grundwasserspiegel wurde der ursprüngliche Mineralinhalt durch die sauerstoffreichen Sickerwässer aufgelöst und oxydierte. Man bezeichnet daher diesen Bereich als *Oxydationszone*. Soweit dort Metallverbindungen vorliegen, handelt es sich um schwerlösliche Oxide oder Hydroxide bzw. um Karbonate. In der obersten Schicht der Lagerstätte, dem „Ausbiß“, blieben nur intensiv braun gefärbte Massen von Limonit FeOOH zurück. Das ist der „Eiserne Hut“ derartiger Vorkommen. Wie es zur Limonitbildung kommt, zeigen die nachstehenden chemischen Reaktionsgleichungen:

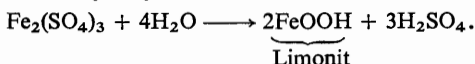
1. Pyrit FeS_2 als ursprüngliches Mineral wird in Ferrosulfat umgewandelt:



2. Das Ferrosulfat wird zu sauerstoffreicherem Ferrisulfat oxydiert:



3. Durch Hydrolyse bilden sich zuletzt Limonit und Schwefelsäure:



Die entstehende Schwefelsäure trägt dazu bei, die Lösungskraft des Wassers zu steigern. Im Bereich des Grundwassers werden die im Wasser gelösten Metallverbindungen – ähnlich wie bei der Elektrolyse – von primären Mineralen teilweise „ausgefällt“. Anstelle der edleren Metalle Silber und Kupfer gehen unedlere Metalle in Lösung, dadurch kommt es in der *Zementationszone* zu typischen Verdrängungen. Folgende Reaktion gibt dafür ein Beispiel:



Covellin wird von Argentit verdrängt, wobei Kupfer in Form des leichtlöslichen Sulfats abwandert.

Die Konzentration edler Metalle in der Verwitterungszone von Ganglagerstätten war die Basis des mittelalterlichen Silberbergbaus im Erzgebirge und im Harz. In der Blütezeit dieses Bergbaues schuf GEORGIUS AGRICOLA (1494–1555), der „Vater der Mineralogie“, seine grundlegenden mineralogisch-geologischen Schriften.

An Hand einer Skizze wollen wir uns die Verwitterungszonen eines Erzganges und die in diesen Zonen entstandenen Minerale einmal vor Augen führen (Abb. 47). Im zweiten Teil dieses Buches wird bei zahlreichen Bildungen darauf hingewiesen, daß sie im Verwitterungsbereich von Erzlagerstätten anzutreffen sind.

Selbstverständlich entstehen Minerale im Rahmen der Verwitterung nicht von heute auf morgen. Auch hier haben wir es mit Prozessen zu tun, die sich über viele Jahrtausende oder sogar Jahrmillionen hinziehen. Nicht selten setzt die Bildung der jetzt anzutreffenden Minerale ganz andere Klimabedingungen voraus, als sie heute vorliegen. So lassen sich die großen

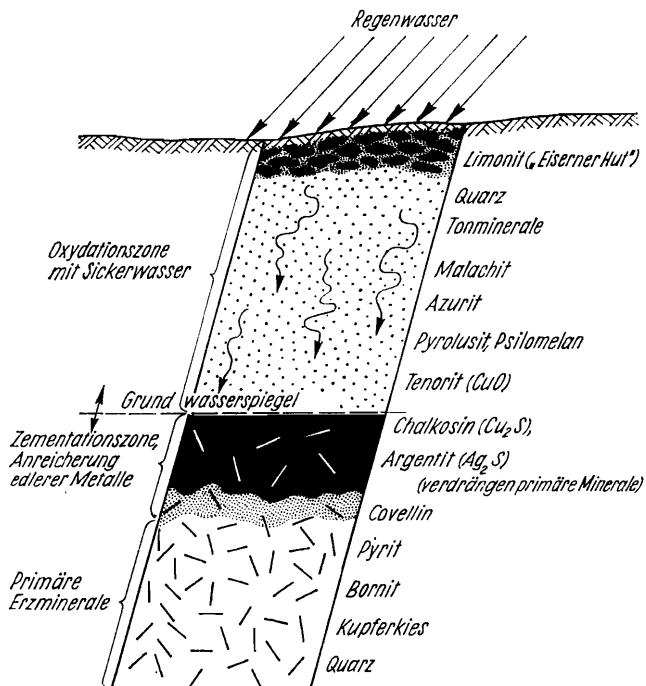


Abb. 47: Beispiel für die Mineralverteilung im Verwitterungsbereich einer Ganglagerstätte

Kaolinvorkommen in Mitteleuropa nur dadurch erklären, daß während der Tertiärzeit in diesem Raum ein tropisches bis subtropisches Klima herrschte, wie es in Gebieten mit tropischen Regenwäldern und mit Savannen zu finden ist. Das gegenwärtige Klima in Mitteleuropa würde keine derartigen Lagerstätten hervorbringen.

Eine bei weitem größere Rolle als die bisher genannten Verwitterungsbildungen spielen die *chemischen Sedimente*, die sich im Meer oder in Binnenseen bzw. festländischen Randsenken abgelagert haben. Sie sind entweder rein chemisch entstanden, oder es handelt sich um Absätze, an deren Bildung Organismen beteiligt waren. Im letzteren Fall sprechen wir von *chemisch-biogenen* Sedimenten, jedoch lassen sich diese nicht immer mit Sicherheit von den rein chemischen Sedimenten unterscheiden. Eine Sonderstellung nehmen schließlich unter den Absatzgesteinen solche ein, die sich aus ursprünglichen Pflanzen und somit *nicht* aus Mineralen aufbauen. Eine Übersicht über die wichtigsten chemischen und chemisch-biogenen Absatzgesteine wird auf Seite 155 gegeben.

	Gestein	Bildungsweise, Mineralbestand
Chemische Absatzgesteine	<i>Kaolin</i> <i>Bauxit</i> (mengenmäßig untergeordnet, aber wirtschaftlich bedeutsam)	<i>Verwitterungsneubildungen</i> , teilweise durch Transport über kurze Entfernungen umgelagert. Kaolin: Kaolinit, Illit, Quarz u.a. Tonminerale. Bauxit: Aluminiumhydroxide
	<i>Kalkstein, Dolomit</i> <i>Anhydrit</i> <i>Gips</i> <i>Halitit</i> (Steinsalz) und andere <i>Sulfat- und Chloridgesteine</i> <i>Kalisalze</i>	<i>Eindampfungsgesteine</i> , die durch Verdunstung des Meerwassers entstehen. Bei solchen, die nur aus einem Mineral zusammengesetzt sind, entspricht der Name der Mineralart dem Gesteinsnamen (<i>Anhydrit, Gips, Halitit</i> oder <i>Steinsalz</i>). <i>Kalisalze</i> nennt man Gesteine, die neben Halit und Anhydrit K-Mg-Minerale führen (<i>Kieserit, Sylvit, Carnallit</i> u.a.)
	<i>Halitit, Gips</i> und andere <i>Salzgesteine</i>	<i>Eindampfungsgesteine</i> in abflußlosen Beckenlandschaften der trockenheißen Klimazone
Chemisch-organogene und rein organische Absatzgesteine	<i>Kalkstein (Kreide)</i> <i>Dolomit</i> und Übergänge zwischen beiden Gesteinen <i>Mergel</i>	<i>Karbonatgesteine</i> entstanden entweder durch rein chemischen Niederschlag bzw. durch chemische Umbildung oder unter Beteiligung von Organismenresten. Manche <i>Kalksteine</i> bauen sich ausschließlich aus den Resten abgestorbener Meerestiere auf. Hauptminerale sind Kalzit bzw. Dolomit. Im <i>Mergel</i> sind tonige Bestandteile vertreten.
	<i>Travertin</i>	<i>Travertin</i> wurde im Süßwasser abgesetzt
	<i>Hornstein</i> <i>Kieselschiefer</i> <i>Feuerstein (Flint)</i> <i>Kieselgur</i> <i>Polierschiefer</i>	<i>Kieselgesteine</i> sind als Absätze heißer Quellen und als marine Ablagerungen verbreitet. An ihrer Bildung sind zumeist Organismen beteiligt. Sie bestehen aus Opal und/oder feinkristallinem Quarz. <i>Kieselgur</i> entstand im Süßwasser
	<i>Torf</i> <i>Braunkohle</i> <i>Steinkohle</i> <i>Anthrazit</i>	<i>Kohlengesteine</i> sind rein organischer Entstehung. Sie gingen aus der Zersetzung pflanzlicher Substanz unter Sauerstoffabschluß hervor. Kohlengesteine setzen sich <i>nicht</i> aus Mineralen zusammen
	<i>Stinkschiefer u. -kalk</i> <i>Erdöl u. Erdgas</i> <i>Bitumen</i> <i>Asphalt</i>	In Massen angehäuften Organismen unterliegen einer Fäulnis und Bituminierung. Das tonig-kalkige Muttergestein wird zum <i>Stinkschiefer</i> . Bei der Abwanderung der flüssigen und gasförmigen Umwandlungsprodukte entsteht <i>Erdöl</i> und <i>Erdgas</i>

Die chemische Natur eines Absatzgesteins ist eindeutig bei den aus konzentrierten Lösungen ausgeschiedenen *Salzgesteinen*. Das Flußwasser bringt ständig gelöste Stoffe in den Ozean oder in Binnenseen. Durch die Verdunstung des Wassers werden sie dort nach und nach angereichert. Das zeigt sich darin, daß das Flußwasser einen durchschnittlichen Salzgehalt von nur 0,1 bis 0,2% aufweist, während der Salzgehalt des Meereswassers *im Mittel* bei 3,5% liegt. Aber nicht alle der im Flußwasser enthaltenen Stoffe gelangen bis ins offene Meer. Vor allem Eisen und Mangan werden größtenteils in geringer Entfernung von der Küste ausgeflockt. Geschieht das über längere Zeiträume im gleichen Gebiet, dann entstehen marine Eisen- und Manganerzlagerstätten.

Im Meerwasser sind die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Stoffe in größerer Menge enthalten:

Zusammensetzung des Meerwassers

	Menge in ‰	umgerechnet auf Prozent der Trockensubstanz
<i>Kationen</i>		
Na ⁺	10,56	30,6
Mg ²⁺	1,27	3,7
Ca ²⁺	0,40	1,2
K ⁺	0,38	1,1
<i>Anionen</i>		
Cl ⁻	18,98	55,1
SO ₄ ²⁻	2,65	7,7
HCO ₃ ⁻	0,14	0,2

Beobachtungen zeigen, daß der Salzgehalt des Meerwassers in weiten Grenzen schwankt. In der Ostsee und der Kaspischen See beträgt er nur ca. 1%, während man andererseits im Toten Meer und in der Karabogasbucht an der Ostseite der Kaspischen See 25 bzw. 28% Salzgehalt festgestellt hat. An solchen Stellen, wo durch fortdauernde Verdunstung der einströmenden Wassermassen und Absinken der schwereren Salzlösungen eine natürliche Sole entsteht, scheiden sich nach Überschreiten der Sättigungskonzentration Minerale aus. Marine Salzanreicherungen entstehen, wenn das Meerwasser in einem festländischen Randbecken ständig verdunstet und die konzentrierte Lauge nicht in das offene Meer zurückströmen kann. Es muß also ein untermeerischer Wall vorhanden sein, der über längere Zeit Meerwasser in die Bucht gelangen läßt, ein Abströmen der sich am Boden ansammelnden konzentrierten Lauge in den Ozean jedoch verhindert. Die einzelnen Abscheidungsfolgen besprechen wir am besten an Hand einer Skizze, welche die Barrentheorie nach OCHSENTUS veranschaulicht (Abb. 48). Zuerst fallen die am schwersten löslichen Stoffe des Meerwassers, das sind *Kalzit*, *Dolomit* und *Eisenoxidhydrat*, aus und bilden als unterste Schicht im wesentlichen Kalkstein und Dolomit. Danach scheidet sich Gips ab (Pha-

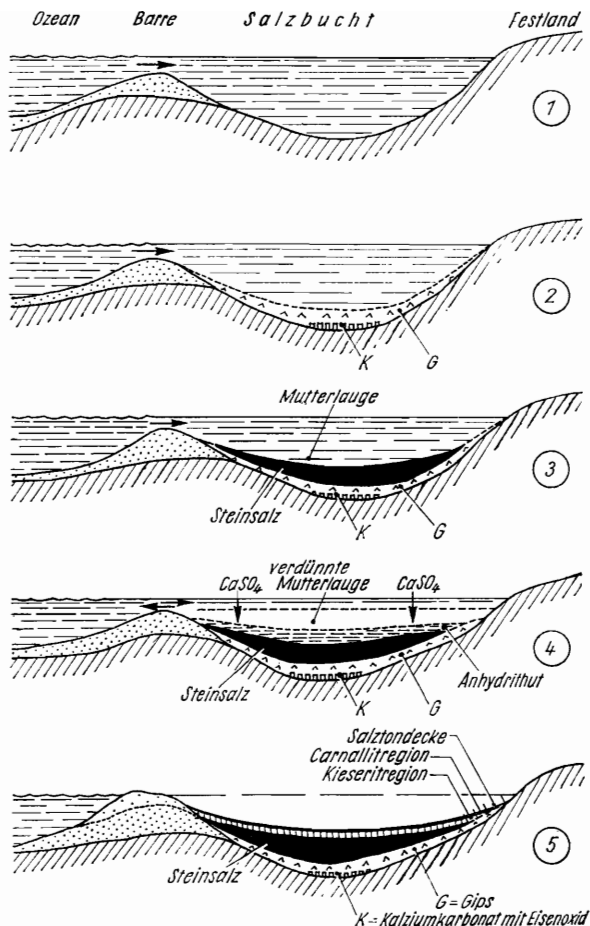


Abb. 48: Die Entstehung von Salzlagern nach der Barrentheorie von OCHSENIUS (1871)

sen 1 und 2). Der Gips wird sodann von *Halit* überlagert (Phase 3). Wenn die Mutterlauge durch erneuten Wasseraustausch verdünnt wird, kann das Steinsalz von *Anhydrit* überlagert werden (Phase 4). Sobald eine Salzbusch vom Ozean vollständig abgeschnürt ist, scheiden sich die Salze der Kieserit- und Carnallitregion aus, die zuletzt von einer Salztondecke „abgedichtet“ werden (Phase 5). In dieser Skizze sind die natürlichen Vorgänge stark ver-

einfacht. Auch verändern sich in Wirklichkeit die zuerst ausgeschiedenen Salzgesteine nachträglich zumeist mehr oder weniger intensiv.

Die Hauptmenge der Salzminerale entfällt auf Halit NaCl. Bei völliger Eindampfung der Ozeane würde eine Steinsalzschrift von 47,5 Metern zurückbleiben. Alle anderen neben Halit entstehenden Salzminerale würden demgegenüber nur eine Mächtigkeit von 12,6 Metern erreichen. Halit beginnt auszufallen, wenn das Meerwasser etwa 8% seines Ausgangsvolumens erreicht hat. Die wertvollen Kalium-Magnesium-Salze, auf deren große Bedeutung als Düngemittel zuerst LIEBIG 1865 hingewiesen hat, scheiden sich erst ab, wenn das Meerwasser auf 1,57% seines ursprünglichen Volumens eingengt wird. Folgt also nach den ersten Eindampfungsphasen keine weitere Konzentration oder wird die Lösung durch erneuten Zufluß von Ozeanwasser verdünnt, dann scheiden sich die Kalium-Magnesium-Salze nicht aus, und die Carnallit- und Kieseritregion fehlt. Auch bleiben diese leichtlöslichen Salze nur erhalten, wenn sie gleich nach ihrer Ablagerung von einer schützenden Tonlage überdeckt werden. Salzgesteine stammen aus verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte. In Mitteleuropa sind sie in der Zechsteinzeit vor ungefähr 200 Millionen Jahren in vier großen Eindampfungszyklen in Massen abgelagert worden. Sie sind die Grundlage der Stein- und Kalisalzgewinnung, eines wichtigen Bergbauzweiges der Deutschen Demokratischen Republik.

Salzminerale und Salzgesteine werden einesteils durch Salzabscheidung aus dem Meerwasser gebildet, andernteils in abflußlosen Senken des Festlandes. Am bekanntesten ist wohl der Große Salzsee von Utah in den USA; er

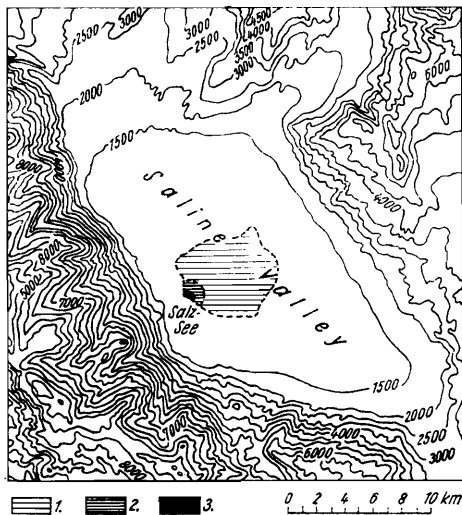


Abb. 49: Der Salzsee im Saline Valley (Kalifornien) als Beispiel für die Salzausscheidung in abflußlosen Talsenken unter ariden Klimabedingungen (Wüsten- und Steppenklima).

1. Salzton als Ablagerung der ursprünglichen Wasserfläche
2. Steinsalt (Halit)
3. Jetziger Salzsee

bedeckt eine Fläche von ungefähr 5500 qkm. Die meisten festländischen Salzseen, die oft nur wenige Meter tief sind, müssen wir als Restpfützen größerer Wasseransammlungen auffassen, wie das die Abbildung 49 zeigt. Im Gegensatz zum Meerwasser mit seinem immer gleichen Verhältnis der gelösten Stoffe weisen die kontinentalen Wässer der abflußlosen Binnensenken einen wechselvollen Chemismus auf. Je nach den Ionen der hauptsächlich gebildeten Salze unterscheiden wir zwischen Borat-, Nitrat-, Natron- und Sulfatseen, wenngleich es auch Zwischen- und Mischtypen gibt. Die wichtigsten Minerale, die in diesen Seen zur Abscheidung gelangen, haben wir in Tabelle auf S. 159 angeführt. Zum Vergleich wurden ihnen die häufigsten Minerale der marinen Salzgesteine gegenübergestellt. Ein Sonderfall sind die Boratseen, die ihren Stoffbestand wohl nur zum Teil aus verwitterndem Gestein beziehen. Das in ihnen niedergeschlagene Bor entstammt wahrscheinlich vulkanischen Aushauchungen. Bevor es sich in Boratseen ansammelte, wurde dieses Element anscheinend mehrfach umgelagert. Wirtschaftliche Bedeutung hat ein Vorkommen bei Boron in Kalifornien (USA), aus dem 80% der gesamten Produktion an Bormineralen stammen.

Die wichtigsten Minerale der Eindampfungssedimente und ihre Zusammensetzung

A. Salzabscheidung aus Meerwasser		B. Salzabscheidung in Binnenseen	
Halit	NaCl	Halit	NaCl
Sylvin	KCl	Gips	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Carnallit	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Sylvin	KCl
Kieserit	$\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$	Anhydrit	$\text{Ca}[\text{SO}_4]$
Polyhalit	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	<i>Boratseen:</i>	
Gips	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Borax	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Anhydrit	$\text{Ca}[\text{SO}_4]$	Kernit	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Kainit	$\text{KMg}[\text{Cl}/\text{SO}_4] \cdot 2^{3/4}\text{H}_2\text{O}$	Colemanit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$
<i>Die wichtigsten Salzgesteine sind:</i>		Pandermit	$\text{Ca}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_7]$
	<i>Minerale:</i>	Ulexit	$\text{NaCa}[\text{B}_3\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Halitit	nur Halit	<i>Nitratseen:</i>	
Anhydrit	nur Anhydrit	Natronsalpeter	NaNO_3
Gips	nur Gips	Kalisalpeter	KNO_3
Hartsalz:	Halit + Sylvin + Kieserit	<i>Natronseen:</i>	
Carnallitit:	Halit + Carnallit + Kieserit	Natrit	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Sylvinitit:	Halit + Sylvin	Trona	$\text{Na}_3\text{H}[\text{CO}_3]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Kainitit:	Halit + Kainit	<i>Sulfatseen:</i>	
		Glauberit	$\text{CaNa}_2[\text{SO}_4]_2$
		Thenardit	$\text{Na}_2[\text{SO}_4]$
		Epsomit	$\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
		Glaubersalz	$\text{Na}_2[\text{SO}_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

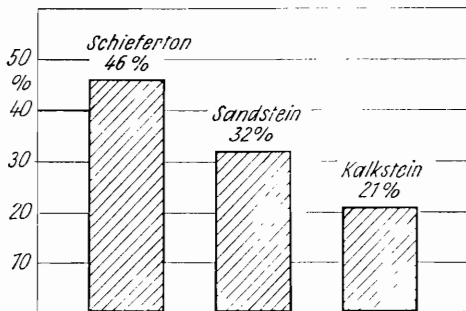


Abb. 50: Schieferton, Sandstein und Kalkstein sind die hauptsächlichen Absatzgesteine. Alle anderen Sedimente machen zusammen nur 1 % der während der Erdgeschichte entstandenen Absatzgesteine aus. (Nach LEITH und MEAD)

Wenn wir die Salzgesteine zuerst beschrieben haben, dann vor allem deshalb, weil sie am besten den Typ rein chemischer Absätze verkörpern. Weiter verbreitet sind indessen unter den chemischen bzw. chemisch-biogenen Gesteinen die *Kalksteine*. Die beiden mechanischen Sedimentgesteine Schieferton und Sandstein machen zusammen mit dem Kalkstein etwa 99% aller im Verlauf der Erdgeschichte abgelagerten Sedimente aus. Eine Abbildung zeigt, in welchem Verhältnis diese drei Gesteinsarten zueinander stehen (Abb. 50).

Karbonatgesteine sind Ablagerungen, die sich hauptsächlich aus Kalzit oder Dolomit zusammensetzen. Nur selten stellen sie rein chemische Niederschläge dar. Zum Beispiel sind Quellabsätze in Gestalt von Kalksinter oder Erbsenstein anorganischer Entstehung, sie treten jedoch mengenmäßig hinter den im Meer oder in größeren Binnenseen abgelagerten Kalkmassen bei weitem zurück.

Die Bildung der Karbonatgesteine ist zumeist an die Lebenstätigkeit von Organismen geknüpft. Viele Kalksteine entstanden dadurch, daß sich Kalzit- und Aragonitskelette am Meeresboden anhäuften, die nach dem Absterben von Meerestieren übrig blieben. Nicht selten sind in den Gesteinen noch Teile der Gehäuse von Muscheln, Brachiopoden, Schnecken, Korallen und anderen, teils ausgestorbenen und teils noch lebenden Tierarten enthalten. Sie bezeugen die Herkunft des zu mächtigen Schichten angesammelten Materials. Aber auch viele Kalksteine, die keine Tierreste (Fossilien) aufweisen, sind wahrscheinlich organischen Ursprungs, denn die Mehrzahl der Skelette zerfällt nach ihrem Absatz am Meeresboden und wird teilweise aufgelöst. In der DDR ist der im Erdmittelalter (Mesozoikum) entstandene Muschelkalk sehr verbreitet. Er tritt uns an den steilen Hängen der Saale an vielen Stellen entgegen und bedeckt große Flächen des thüringischen Untergrunds. Vorkommen älterer Kalksteine finden sich in der Umgebung von Elbingerode im Harz, wo das Material in großen Tagebauen für die chemische Industrie gebrochen wird. Auch die weiße Schreibkreide, die am Steilufer der Insel Rügen in reizvollem Farbkontrast zum Meer steht, baut sich aus den Überresten winziger Lebewesen auf.

Sind diese Kalksteine dadurch entstanden, daß bestimmte Organismen den im Meerwasser enthaltenen Kalk aufnehmen und in ihren Körper einbauen, so gibt es andererseits Karbonatgesteine, die nur indirekt auf die Lebens-tätigkeit von Organismen zurückgehen. Wasserpflanzen entziehen dem Wasser nämlich Kohlensäure und verringern dadurch seine Löslichkeit für Kalziumkarbonat. Unter diesen Umständen fällt Kalzit aus. Da jedoch die im Wasser gelöste Kohlensäure auch durch Temperaturerhöhung freigesetzt werden kann, ist nicht immer sicher festzustellen, ob anorganische Kalkfällung eintrat oder ob die Assimilation der grünen Pflanzen der entscheidende Vorgang war. Viele *Travertine* und sogenannte Kalktuffe sind wahrscheinlich durch Kalkausscheidung infolge von physiologischen Vorgängen entstanden. Manchmal ist zu sehen, wie die Mineralpartikeln dieser Gesteine Pflanzenteile umkrustet haben.

Zahlreiche Kalksteine bestehen fast nur aus dem Mineral Kalzit CaCO_3 . Es gibt jedoch auch Kalksteine, die durch tonige Substanz verunreinigt sind. Die Übergänge vom Kalk zum Ton werden *Mergel* genannt. Wieder andere enthalten grüne Körner von *Glaukonit*, einem glimmerähnlichen Mineral, das sich bevorzugt im Meer bildet. Auch sind Kalkablagerungen nicht selten, in denen während der Sedimentation oder im Verlauf der Verfestigung Kieselsäure- oder Phosphoritknollen entstanden. Die Feuersteinlagen in der Schreiekreide sind wohl die bekannteste Erscheinung dieser Art.

Wenn der Kalkstein das Mineral Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ enthält, können wir kaum mehr von einer Verunreinigung sprechen, gibt es doch zwischen Kalkstein und Dolomit alle nur denkbaren Übergänge. Von vielen Dolomitgesteinen darf angenommen werden, daß sie sekundär aus Kalkstein hervorgingen, indem sich das Kalziumkarbonat unter dem Einfluß magnesiumhaltiger Lösungen zu Dolomit umwandelte.

Ganz ähnlich wie der überwiegende Teil der Karbonatgesteine entstanden auch die meisten *Kieselgesteine*. Im Meerwasser lebende Organismen bauen mit dem geringen Kieselsäuregehalt des Wassers – er beträgt im Durchschnitt nur 2 Milligramm pro Liter – ihr Stützgerüst auf. Nach ihrem Absterben sammeln sich die Skelette an. Es sind vor allem die Hartteile der in kälteren Zonen lebenden Kieselalgen oder Diatomeen und der Radiolarien, welche wärmere Gebiete bevorzugen. Aus der Opalsubstanz, um die es sich vorwiegend handelt, bildet sich nach dem Absatz häufig feinstkristalliner Quarz (Chalzedon), wobei die Organismenreste völlig zerstört werden können. Solche fossilfreie Kieselgesteine bezeichnen wir als *Hornsteine*. In dem am weitesten verbreiteten Kieselgestein, dem meist dunkelgrau bis schwarz gefärbten *Kieselschiefer* oder *Lydit* – der Juwelier benutzt ihn als „Probierstein“ – sind nicht selten noch Radiolarienreste im mikroskopischen Präparat zu erkennen. Kieselalgenpanzer bauen die *Kieselgur* auf, die in Binnenseen abgelagert wurde. Aus der gerüstartigen, sperrigen und zum Teil sogar durchlöcherten Form der mikroskopisch kleinen Gebilde erklärt sich die große Porosität dieses Gesteins. Es wird als Filtermittel und Füllstoff für Papier und Kunststoffe verwendet. NOBEL benutzte Kieselgur zum Aufsaugen von Nitroglyzerin bei der Dynamitherstellung. Schwach ver-

festigte Kieselgesteine mit glatten Ablösungsflächen sind *Polierschiefer* und *Tripel*. Man verwendet sie als Schleif- und Poliermittel.

Ohne Vermittlung von Organismen wird Kieselsäure an heißen vulkanischen Quellaustritten abgeschieden, in deren Umgebung sich *Kieselsinter* und *Geysirit* niederschlagen. Daneben bieten solche Quellaustritte, die an der Erdoberfläche oder am Meeresboden liegen können, den Kieselorganismen günstige Lebensbedingungen, so daß auch hier zwischen anorganischer und organischer Entstehung nicht immer sicher zu unterscheiden ist.

Eine sehr bekannte Form der in der Natur auftretenden Kieselsäure stellt der *Feuerstein* oder *Flint* dar. Er ist dunkel gefärbt, von einer weißen Rinde umgeben und kann knollenförmig oder plattig sein. Man findet ihn in großer Menge in der Schreiekreide und, verschleppt von den eiszeitlichen Gletschern, in den nord- und mitteldeutschen Glazialablagerungen. Die Bezeichnung „Flinten“ erinnert daran, daß der Flint Ende des 17. Jahrhunderts in den Funkenschlagmechanismus der Steinschloßgewehre eingebaut wurde. Viele Werkzeugfunde und Siedlungsplätze bezeugen die große Rolle, die der Feuerstein in der Steinzeit als ein hartes und scharfkantiges Material spielte, das leicht zu bearbeiten ist.

Die *Kohlengesteine* setzen sich – im Unterschied zu allen bisher behandelten Gesteinen der sedimentären Abfolge – *nicht aus Mineralen* zusammen. Trotzdem werden sie üblicherweise zu den Sedimentgesteinen gestellt, weil sie ebenfalls schichtartig auftreten. Als Anhäufungen von Pflanzen, die unter Beteiligung niederer Organismen unter Wasser zersetzt wurden, wechsellagern die Kohlengesteine häufig mit mechanischen und chemischen Absatzgesteinen. Wir können mit zunehmender Veränderung der pflanzlichen Ausgangssubstanz zwischen *Torf*, *Braunkohle*, *Steinkohle* und *Anthrazit* unterscheiden. Im Verlauf dieser Umwandlung verliert sich die ehemalige Pflanzenstruktur. Der Gehalt an Sauerstoff und Wasserstoff der organischen Substanzen nimmt immer mehr ab, und der Kohlenstoffgehalt (und damit der Heizwert) erhöht sich.

Eine gewisse Beziehung zu diesen organischen Substanzen hat der als Schmuck beliebte *Bernstein*. Das „Gold des Meeres“ ist ein verhärtetes Baumharz und somit ebenfalls *kein Mineral*. In größerer Menge ist Bernstein in tertiären Sanden – der sogenannten „Blauen Erde“ – enthalten. An der Südküste der Ostsee wird er ausgewaschen und, bedingt durch seine geringe Dichte, vom Meer weiter verfrachtet. Den größten Wert haben für Sammler die Stücke mit Hohlformen von Insekten und anderen Lebewesen.

Stinkschiefer sind bituminöse, dünnstiefriige tonig-mergelige oder kalkige Gesteine, die unangenehm riechen, wenn sie mit einem Hammer zerschlagen werden. Solche bituminöse Schiefer und Kalke dürften als Muttergesteine des Erdöls, eines der wichtigsten Rohstoffe, aufzufassen sein. Das Erdöl kann jedoch abwandern und in porösen Schichten wie von einem Schwamm aufgenommen oder auf Klüften gespeichert werden. So kommt es, daß Erdöl in Gesteinen auftritt, die mit seiner Entstehung nichts zu tun haben. Wo Erdöle auf natürliche Weise an der Erdoberfläche herausquellen, oxydieren sie und werden zu *Asphalt*.

Weitere Mineralbildungen der sedimentären Abfolge. Nicht alle im Verlaufe der Ablagerung und nachträglichen Verfestigung entstandenen Minerale bilden Gesteine. Manche sind nur gelegentlich in Absatzgesteinen enthalten oder durch Stoffbewegungen auf Spalten ausgeschieden worden. An Salzgesteine gebunden ist *Borazit*, dessen derbe, knollenförmige Ausbildung *Staßfurtit* genannt wird. In Karbonatgesteinen und auf deren Klüften findet man ab und zu *Fluorit*, *Zölestin* und *Strontianit*. Für den Fluor- bzw. Strontiumgehalt dieser Minerale dürfen wir annehmen, daß er zuerst in die aus Aragonit bestehende Skelettsubstanz von Meerestieren eingebaut wurde. Aragonit kann bis zu 4,7% SrO aufnehmen. Während die aragonithaltigen Sedimente verhärten, muß der überwiegende Teil des im Gitter enthaltenen Strontiums abwandern, denn der durch Gitterumbau entstehende Kalzit bietet für Strontium keinen Platz. Das freigesetzte Strontium bildet dann eigene Minerale.

Zu anderen Vorgängen kommt es in den unteren, sauerstofffreien Schichten der Meere und Seen. Verschiedene Bakterienarten erzeugen dort Schwefelwasserstoff. Im Wasser enthaltene Schwermetallionen werden durch H_2S ausgefällt. Am Boden setzen sich – zusammen mit anderen Stoffen – unlösliche Sulfide der Metalle Fe, Cu, Ag, Pb und Zn ab. Meist sind die derart entstandenen Minerale in so kleinen Teilchen im Sedimentgestein enthalten, daß man sie mit bloßem Auge nicht erkennt. Bedeutende bauwürdige Erzvorkommen, so der *Kupferschiefer* im Gebiet von Mansfeld und Sangerhausen, legen Zeugnis von diesem Prozeß ab. Die Lebenstätigkeit von Bakterien brachte unter günstigen Umständen *Schwefellagerstätten* hervor. Andererseits scheidet sich gediegen Schwefel auch an Vulkanen ab, und zwar bisweilen in gewaltigen Mengen. Wir ersen aus diesem Beispiel, daß sich eine Mineralart nicht immer einer einzigen Abfolge zuordnen läßt.

Die metamorphe Abfolge

Durch Erdkrustenbewegungen können Absatz- und Erstarrungsgesteine nach und nach in größere Tiefe gelangen. Dort herrschen natürlich ganz andere Bedingungen als bei der Entstehung der Absatzgesteine im Bereich der Erdoberfläche. Auf Grund der wesentlich höheren Temperaturen und einer damit nicht selten verbundenen Durchbewegung der Gesteine wird hier der Stoffbestand umkristallisiert. Diesen Vorgang bezeichnen wir als *Metamorphose* (griech. metamorphosis = Umformung). Nicht immer müssen dabei neue Minerale auf Kosten der früheren entstehen. Die Erstarrungsgesteine, deren Minerale bereits bei hohen Temperaturen kristallisierten, werden manchmal nur mechanisch verformt. Aus einem Granit zum Beispiel geht ein Gneis hervor, der sich nicht im Mineralbestand, wohl aber im Gefüge vom Granit unterscheidet. Liegen die einzelnen Kristalle im Granit regellos, so haben sich bei der Durchbewegung vor allem die blättrigen Glimmerminerale „eingeregelt“ (s. Bildtafel Umwandlungsgesteine). Auch in einem ganz reinen Kalkstein, der ausschließlich aus Kalzit

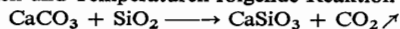
besteht, können sich, wenn die chemische Zusammensetzung des Gesteins unverändert bleibt, keine neuen Minerale bilden. Es tritt jedoch eine Sammelkristallisation ein, bei der die großen Kristalle die kleineren nach und nach aufzehren. Dadurch kommt es zu einer Kornvergrößerung; aus dem dichten Kalkstein wird ein deutlich kristalliner Marmor.

Eine weitaus größere Rolle spielen in der Natur jedoch Gesteinsumwandlungen, in deren Verlauf neue Minerale gebildet werden. Bei der Erwärmung der in die Tiefe geratenen Gesteine erweisen sich viele Minerale als unbeständig. Sie reagieren miteinander und bringen neue, unter den gegebenen Druck- und Temperaturbedingungen stabile Mineralgemeinschaften hervor. Bei dieser „Umkristallisationsmetamorphose“ bleiben die Gesteinsmassen überwiegend in festem Zustand.

Umkristallisation tritt nicht nur ein, wenn räumlich ausgedehnte Gesteinsmassen in die Tiefe verlagert werden, sondern auch dann, wenn sich die Temperatur in der Nachbarschaft aufgestiegener Schmelzen rasch erhöht. Da die Aufheizung im Rahmen solcher Schmelzen mit zunehmender Entfernung bald abklingt, wird nur eine wenige hundert Meter breite Zone umgewandelt. Wir sprechen von einem *Kontaktthof* um die erstarrten Gesteinschmelzen (Abb. 51).

Bei der Kontaktmetamorphose können zwar sehr hohe Temperaturen erreicht werden, besonders in der Umgebung der heißeren, kieselsäurearmen („basischen“) Gesteinsschmelzen, doch ist der Druck meist verhältnismäßig niedrig. Auch fehlt in diesem Fall eine Durchbewegung der Rahmengesteine. Welche Mineralgemeinschaften sich im einzelnen einstellen, das hängt, wie übrigens bei *allen* Umbildungsgesteinen, vom Ausgangsbestand und vom Grad der Metamorphose ab. Ferner ist ausschlaggebend, ob der *Gesamtchemismus* des Gesteins erhalten bleibt oder ob bestimmte Stoffveränderungen eintreten. So können die vom Magma abgegebenen Dämpfe und Lösungen in das Nebengestein geraten und mit diesem reagieren. Andererseits löst in manchen Nebengesteinen allein die Temperaturerhöhung chemische Reaktionen aus, bei denen flüchtige Stoffe wie Wasser und Kohlendioxid mobilisiert werden. Die Kontaktmetamorphose ist fast immer mit einer „Trocknung“ der Nebengesteine verbunden.

In Kalkgesteinen, die durch Quarz verunreinigt sind, kann bei bestimmten Drücken und Temperaturen folgende Reaktion ablaufen:



Kalzit Quarz Wollastonit Kohlendioxid

Durch chemische Reaktion entsteht aus Kalzit und Quarz das neue Kontaktmineral *Wollastonit*, während das Kohlendioxid abwandert. Komplizierter sind die Umsetzungen, die in einem Tonschiefer vor sich gehen. In einer klassischen Arbeit hat H. ROSENBUSCH 1877 seine Beobachtungen in den Kontaktthöfen der Granite von Barr-Andlau und Hohwald niedergelegt. Am weitesten entfernt vom aufgedrungenen Granit entwickeln sich aus dem Tonschiefer sogenannte *Frucht-* und *Knotenschiefer*. Die Grundmasse dieser Gesteine ist noch völlig unverändert. In diesem ersten und niedrigsten Stadium der Kontaktmetamorphose hat sich nur das Pigment der normalen

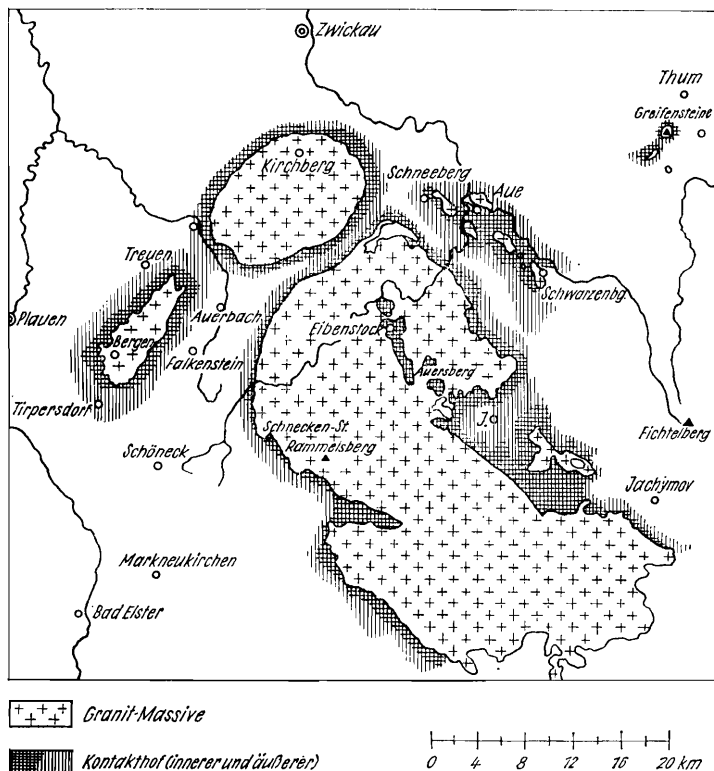
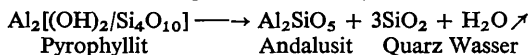


Abb. 51: Die durch die Heizwirkung des Magmas hervorgerufenen Kontakthöfe der westerzgebirgischen Granite (Mdl-Gen. Nr. 669/69)

Schiefer knoten- oder fruchtartig angehäuft. Dieser äußeren Zone schließt sich eine Zone mit *Knotenglimmerschiefer* an. Die Grundmasse ist gröber geworden und anstelle des im Tonschiefer enthaltenen Chlorits tritt nunmehr Biotit auf. Je näher das Nebengestein am Granit liegt, desto mehr verschwinden die Pigmentflecken. Schließlich geht in der inneren Kontaktzone aus dem Tonschiefer ein *Hornfels* hervor, der das höchste Umwandlungsprodukt darstellt. Die Schieferung ist durch die intensive Umkristallisation völlig verlorengegangen, und als typisch neues Mineral erscheint *Andalusit*. Den chemischen Vorgang, der das Mineral Andalusit hervorbringt, können wir mit folgender Reaktionsgleichung ausdrücken:



Er läuft erst bei etwa 500°C ab, wie durch neuere Untersuchungen herausgefunden wurde. Wir ersehen aus der Reaktion, daß bei der Umkristallisation des glimmerähnlichen Minerals Pyrophyllit zu Andalusit und Quarz Wasser freigesetzt wird und abwandert.

Die soeben beschriebenen Umbildungsstadien von Tonschiefern finden sich in vielen Kontakthöfen, so auch in denen des Ramberg- und Brockengranits im Harz und denen der westerrzgebirgischen Granite. Alle dichten Umwandlungsgesteine in der Nachbarschaft von Intrusionen (eindringendem glutflüssigem Gestein) nennen wir *Hornfelse*, während die körnig erscheinenden Umwandlungsprodukte am besten als *Granofelse* bezeichnet werden.

Die Kontaktgesteine wurden also durch Aufheizung des Nebengesteins von Schmelzen gebildet; dagegen sind die in ausgedehnten Arealen verbreiteten regionalmetamorphen Gesteine durch größere Druckwirkung und „Durchbewegungen“ geprägt worden. Infolge des höheren Belastungsdrucks werden manche Minerale in der Druckrichtung aufgelöst und wachsen senkrecht dazu weiter. Auf diese Weise ordnen sich blättchen- und säulenförmige Minerale parallel an. Die Glimmer und Hornblenden regeln sich ein, so daß ein schiefriges Gefüge entsteht. Aus diesem Grund bezeichnen wir die regionalmetamorphen Gesteine auch als „*kristalline Schiefer*“. Bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, wo die Umkristallisation oft nur eine geringfügige Kornvergrößerung bedeutet, sind die kristallinen Schiefer noch ziemlich feinkörnig. Demgegenüber brachten die in größerer Tiefe herrschenden Temperaturen Gesteine hervor, deren einzelne Minerale bereits mit bloßem Auge gut zu erkennen sind.

Welche kristallinen Schiefer ergeben sich im Verlauf der Regionalmetamorphose bei der Umkristallisation des Tonschiefers? Mit steigender Intensität stellen sich die folgenden Gesteine ein:

Tonschiefer → Phyllit → Glimmerschiefer → Gneis.

Im ersten Umwandlungsstadium verändert sich auch hier der Mineralbestand des Tonschiefers – Quarz, Glimmer, Chlorit – nur wenig. Der höhere Druck indessen vergrößert die Glimmerschuppen. Sie werden in Druckrichtung aufgelöst und wachsen senkrecht dazu weiter: Es entwickelt sich ein dünnstieferiger Phyllit (griech. *phyllon* = Blatt).

Durch steigende Drücke und Temperaturen werden die Hauptbestandteile Quarz und Glimmer so groß, daß man sie auf den Schieferungsflächen und im Querbruch als einzelne Körner bzw. Blättchen erkennt. Im nun vorliegenden *Glimmerschiefer* kann man nicht selten größere Kristalle weiterer Gemengteile beobachten, deren Natur von der chemischen Zusammensetzung des Tonschiefers abhängt. Solche charakteristischen Übergemengteile sind *Granat*, *Disthen* und *Staurolith*. Oft zeichnen sie sich durch ihr Größenwachstum aus, denn sie erreichen in manchen Vorkommen eine Länge von mehreren Zentimetern. Im Unterschied zu den Einsprenglingen in Erstarrungsgesteinen sprechen wir von *Porphyroblasten* (griech. *blastein* = sprießen, sprossen). Dadurch soll ausgedrückt werden, daß sie nicht aus einer Schmelze, sondern in einem größtenteils festen Kornaggregat

kristallisierten, wobei benachbarte Minerale vollständig oder teilweise verdrängt wurden. Höchstwahrscheinlich haben auch bei ihrem Wachstum geringe Lösungsmengen eine Rolle gespielt. Dafür spricht unter anderem der Wassergehalt einiger Minerale mit (OH)⁻-Gruppen im Kristallgitter, die an solchen Umkristallisationen beteiligt sind.

Bei höhergradiger Metamorphose wird Feldspat, der im Phyllit und im Glimmerschiefer nur selten enthalten ist, zu einem vorherrschenden Gemengteil. Er gehört neben Quarz, Biotit und Muskovit zum Hauptbestand des nunmehr vorliegenden mittel- bis grobkörnigen *Gneises*. Auch im Gneis mit seinem flaserigen, schiefrigen oder lagigen Gefüge sind bisweilen charakteristische Übergemengteile wie *Granat*, *Staurolith*, *Disthen*, *Sillimanit*, *Cordierit* und andere zu beobachten.

Da Gneise, Glimmerschiefer und Phyllite *nicht nur* durch steigende Umwandlung von Tonschiefern, sondern auch in anderer Weise gebildet werden können, müssen wir bei der Beurteilung des Ausgangsgesteins vorsichtig sein. Überhaupt ist es oft schwierig, wenn nicht unmöglich, das ursprüngliche Gestein genau anzugeben. Ein Gneis kann, wie wir es geschildert haben, das Endglied der Reihe Tonschiefer-Phyllit-Glimmerschiefer darstellen. Er kann aber andererseits auch aus einem Granit durch Druck-Temperatur-Banspruchung hervorgegangen sein. Im zuerst genannten Fall sprechen wir von einem „Paragneis“, im zweiten von einem „Orthogneis“. Nach der Natur des Ausgangsmaterials lassen sich alle Umwandlungsgesteine einteilen in *Paragesteine*, sofern sie aus Sedimentgesteinen hervorgingen, und *Orthogesteine*, soweit sie magmatischen Ursprungs sind.

Die sedimentäre Abkunft erkennt man an charakteristischen Mineralarten und bestimmten Gefügemerkmalen, zum anderen an der Art, wie sie mit benachbarten Gesteinen verbunden sind. Ein besonders eindeutiger Fall eines ursprünglichen Absatzgesteins liegt beim *Geröllgneis* vor, dessen gerundete und oft deformierte Gerölle die Konglomeratnatur des Ausgangsgesteins beweisen. *Orthogesteine* zeigen durch ihre zumeist gleichmäßigere Ausbildung und durch gelegentlich vorkommende Reste des magmatischen Gefüges und Mineralbestandes, daß ein Erstarrungsgestein umgeformt wurde. Eine Trennung ist in den Fällen schwierig, wo durch intensive Umkristallisation alle Merkmale des Absatz- bzw. Erstarrungsgesteins verschwunden sind und wo auch auf chemischem Wege nicht unterschieden werden kann. Von Natur aus haben zwar die Erstarrungsgesteine meist eine andere chemische Zusammensetzung als die Absatzgesteine, doch gibt es Ausnahmen von dieser Regel. Eine weitere Komplikation bilden Gesteinsumwandlungen mit Stoffzufuhren und -wegfuhren. Durch einen solchen Stoffaustausch, den wir *Metasomatose* nennen, wird der Ausgangskemismus entscheidend verändert.

Bei der Kontaktmetamorphose ist der ausschlaggebende Faktor die Erwärmung des Nebengesteins, die vom eingedrungenen Schmelzfluß hervorgerufen wird. Zur Formung der kristallinen Schiefer, wie sie bei der Regionalmetamorphose gewöhnlich entstehen, trägt der bei der Gebirgsbildung auftretende Druck entscheidend bei. In Räumen, die keiner gerichteten

Druckwirkung ausgesetzt waren, wurden die langsam in größere Tiefen absinkenden Absatz- und Erstarrungsgesteine kaum sichtbar verändert. Erst in neuester Zeit haben genaue Untersuchungen mit dem Mikroskop und mit Röntgenstrahlen bewiesen, daß auch hierbei charakteristische Mineralreaktionen eintraten. Diese erst vor kurzem entdeckte Art der Umwandlung wird regionale *Versenkungsmetamorphose* genannt. Das auslösende Moment dieser Metamorphose sind die in der Tiefe herrschenden Temperaturen. Aus Experimenten wissen wir, daß etwa 300°C erreicht werden müssen, damit sich für diese Art der Metamorphose typische Mineralvergesellschaftungen einstellen. Unterhalb dieser Temperatur erfolgt die Verhärtung oder Diagenese der sedimentären Bildungen. Wie wir aus der Besprechung der sedimentären Abfolge wissen, finden auch dabei Umkristallisationen und Mineralneubildungen statt, doch werden nur solche Minerale hervorgebracht, die auch beim Absatz von Gesteinen an der Erdoberfläche entstehen. Viele Messungen haben ergeben, daß sich die Temperatur bei einer durchschnittlichen Tiefenzunahme von 33 Metern um 1°C erhöht. Man nennt die Vertikalentfernung, die einer Temperaturerhöhung von 1°C entspricht, *geothermische Tiefenstufe*. Sie schwankt zwischen 11 und 125 Metern und hängt vom geologischen Bau des jeweiligen Gebietes ab. Rechnen wir mit dem abgerundeten Durchschnittswert (3° auf 100 m), dann ergibt sich für die Temperatur von 300°C und somit für den Beginn der Versenkungsmetamorphose eine Tiefe von etwa 10000 Metern. Das stimmt mit den Beobachtungen von COOMBS 1961 in Neuseeland gut überein, der für den Beginn der Mineralreaktionen eine Teufe von 11 Kilometern fand.

Wird der Bereich der Gesteinsmetamorphose nach niedrigen Temperaturen abgegrenzt gegen den der *Diagenese* (der nachträglichen Verfestigung der Absatzgesteine), so ist er andererseits nach höheren Temperaturen durch die Gesteinsaufschmelzung oder *Anatexis* begrenzt. Viele Umwandlungsgesteine werden bei gewissen Temperaturen und Drucken teilweise aufgeschmolzen. Bei welchen Druck-Temperatur-Bedingungen das geschieht, hängt davon ab, wie sich das Gestein chemisch zusammensetzt. Nur feldspatführende Gesteine werden wiederaufgeschmolzen, während andere Gesteine im festen Zustand verbleiben. Im Bereich der Anatexis bilden sich zuerst Gesteine heraus, in denen Reste der kristallinen Schiefer mit der entstandenen Schmelze vermischt sind. Wir sprechen von Mischgesteinen oder *Migmatiten* (siehe Bildtafel Umwandlungsgesteine). Die entstandene Schmelze hat fast immer granitische Zusammensetzung. Wird sie von dem nicht mit aufgeschmolzenen Rest abgepreßt, dann kann auf diese Weise Granit zustandekommen. Auf diese Möglichkeit wurde bereits bei der Besprechung des Gesteinskreislaufes hingewiesen.

Die drei Arten der Gesteinsumwandlung und ihre Grenze zur Diagenese und zum niedrigsten Schmelzbeginn in Gneisen sind, bezogen auf die jeweiligen Drücke und Temperaturen, in dem folgenden schematischen Diagramm eingetragen (Abb. 52).

Nach unten ist in der Skizze die Tiefenzunahme (linke Skala) bzw. die

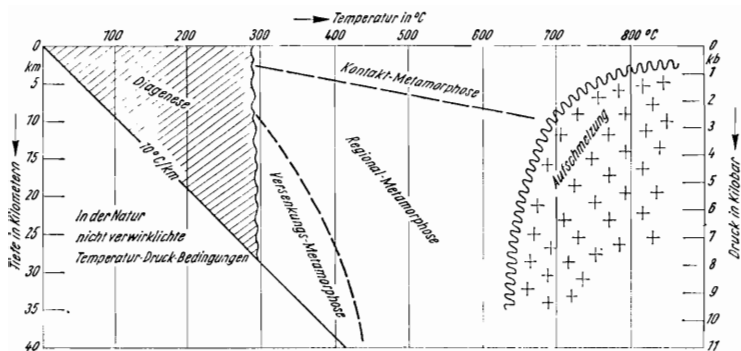


Abb. 52: Schematisches Druck-Temperatur-Diagramm der Metamorphosearten (vereinfacht nach H. G. F. WINKLER (1965))

Druckzunahme (rechte Skala) eingetragen. Jeder Tiefe innerhalb der Erdkruste entspricht ein bestimmter Druck. Die obere Skala verzeichnet von links nach rechts steigende Temperaturen. Alle Metamorphosearten sind, wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, an bestimmte Druck-Temperatur-Felder gebunden. Wir entnehmen der Darstellung, daß die bei der Verfestigungsmetamorphose auftretenden Temperaturen nicht ausreichen, um das Krustenmaterial aufzuschmelzen. Die Kontaktmetamorphose unterscheidet sich von der Regionalmetamorphose durch geringere Drücke und zum Teil durch höhere Temperaturen. Die geschlängelte Linie in der rechten Hälfte des Diagramms, die den Aufschmelzungsbereich kennzeichnet, zeigt uns, daß sich die Schmelztemperatur mit *steigendem* Druck erniedrigt.

Viele Beobachtungen und Überlegungen wurden angestellt, um die Umwandlungsgesteine entsprechend den bei ihrer Entstehung herrschenden Bedingungen zu ordnen. Die regionalmetamorphen Gesteine hat U. GRUBENMANN, aufbauend auf Vorschlägen des finnischen Gelehrten J. J. SEDERHOLM, drei „Tiefenzonen“ zugeordnet. Jede dieser Zonen ist charakterisiert durch bestimmte physikalische Bedingungen (Druck, gerichteter Druck = Streß, Temperatur). In Abhängigkeit davon entstehen charakteristische Mineralgemeinschaften, deren Natur im einzelnen vom Ausgangsbestand bestimmt wird. Die Umwandlung eines Schiefertons führt unter gleichen Druck-Temperatur-Bedingungen zu einem anderen Gestein als die eines Gabbros oder eines Kalksteins.

Manche Minerale sind in Umwandlungsgesteinen aller drei Zonen beständig und werden deshalb „Durchläufer“ genannt. Überhaupt ist eine scharfe Grenze zwischen den drei Zonen kaum zu ziehen, denn in der Natur gibt es Übergänge. Auf Grund der *Mineralgemeinschaft* läßt sich ein Umwandlungsgestein aber in vielen Fällen einer metamorphen Zone zuordnen.

Eine in vieler Beziehung zweckmäßigere Ordnung hat der finnische Gelehrte PENTTI ESKOLA 1921 vorgeschlagen, indem er das „Mineralfaziesprinzip“

Folgende drei Zonen unterscheidet GRUBENMANN:

Zone	physikalische Merkmale	typische Minerale
<i>Epizone</i>	Temperatur und Druck im allgemeinen niedrig	Chlorit Fe-Al-Granat Epidot Grammatit Serizit (feinschuppiger Muskovit) Albit u. a.
<i>Mesozone</i>	höhere Temperaturen und Drücke; gerichtete Druckbeanspruchung wirksam	Muskovit, Biotit Staurolith Disthen Epidot, Zoisit, Diopsid Albit, Plagioklas bis 15% Anorthitgehalt u. a.
<i>Katazone</i>	sehr hohe Temperaturen und Drücke (bis Schmelzbeginn); allseitige Druckbeanspruchung herrscht gegenüber einseitiger Beanspruchung (Streß) vor	Muskovit, Biotit Sillimanit Cordierit Andalusit Wollastonit Almandingranat Feldspäte u. a.

einführte. Wir wollen diese nicht ganz leicht verständliche Art einer Einteilung der Umwandlungsgesteine hier nicht ausführlich besprechen. Sie beruht auf der Vorstellung, daß bei gleichem Ausgangskemismus unter denselben Druck-Temperatur-Bedingungen stets der gleiche Mineralbestand entstehen muß. Ändert sich die chemische Zusammensetzung, so ändert sich auch die Mineralgemeinschaft gesetzmäßig, und das kann in entsprechenden Diagrammen übersichtlich dargestellt werden. Das Gesicht (lat. *facies* = Gesicht, äußere Erscheinung) eines Umwandlungsgesteins wird geprägt durch den Chemismus und die bei seiner Formung herrschenden Drücke und Temperaturen. *Alle metamorphen Gesteine, die innerhalb eines in festgelegten Grenzen schwankenden Druck-Temperatur-Bereiches entstanden, rechnen zu einer Mineralfazies.* Der Wechsel von einer Mineralfazies zu einer anderen ist in der Regel an charakteristische Mineralreaktionen gebunden, die zu einem andersartigen Mineralbestand führen. Durch systematische experimentelle Forschung im Verein mit genauen Gesteinsuntersuchungen ist es nunmehr möglich, viele dieser kennzeichnenden Mineralreaktionen anzugeben. Die exakte Analyse der Mineralgesellschaft eines Umwandlungsgesteins ergibt dann, zu welcher Mineralfazies dieses Gestein zu stellen ist.

In der Tabelle (Seite 171) sind die verbreiteten Umwandlungsgesteine genannt.

Die wichtigsten Umwandlungsgesteine

A. Kontaktgesteine

Ausgangsgestein	—————→ zunehmende Umwandlung		
Ton, Schiefertone, Tonschiefer	<i>Knoten-, Fleck- und Frucht- schiefer</i>	<i>Knotenglimmer- schiefer</i>	<i>Hornfels (+ Andalusit)</i>
Mergel, Mergelschiefer	<i>Kalksilikatfelse mit verschiedenen Silikaten (Grossular, Grammatit, Diopsid, Vesuvian u.a.) Umwandlung mit Stoffzufuhr → Skarn</i>		
Kalkstein, Dolomit	<i>Kontaktmarmor mit Kalzit bzw. Dolomit als Haupt- bestandteil, untergeordnet Kalksilikatminerale</i>		
Quarzsandstein	←————— <i>Quarzit</i> —————→		
Bauxit			<i>Smirgel (+ Korund)</i>
Limonit, Siderit (Eisenerze)			<i>Magneteisenerz</i>
Diabas		<i>Diabashornfels</i>	<i>Pyroxen-Plagio- klas-Hornfels</i>

B. Regionalmetamorphe Gesteine (ohne Stoffzufuhr)

Ausgangsgestein	—————→ zunehmende Umwandlung		
	(Epizone)	(Mesozone)	(Katazone)
Ton, Schiefertone, Tonschiefer	<i>Phyllit</i>	<i>Glimmerschiefer</i>	<i>Gneis</i>
toniger Mergel	<i>Chloritschiefer</i>	<i>Aktinolithschiefer</i>	<i>Amphibolit Eklogit</i>
Mergel	<i>Kalksilikatgesteine mit —————→ Epidot → Grammatit → Diopsid → Wollastonit u.a.</i>		
Kalkstein, Dolomit	←————— <i>Marmor</i> —————→		
Quarzsandstein	←————— <i>Quarzit</i> —————→ (Serizitquarzit)		
Diabas, Gabbro	„Grünschiefer“	<i>Epidot- Amphibolit</i>	<i>Amphibolit</i>
Peridotit	<i>Serpentinit</i> und andere „Magnesiumsilikatschiefer“		<i>Eklogit</i>
Granit/Arkose	„Phyllonit“		<i>Gneis, Granulit</i>
Diorit/Mergelton		→ <i>Epidot-Horn- blende-Schiefer</i>	<i>Hornblendegneis Augitgneis</i>
Kohlengesteine	—————→ <i>Anthrazit, Graphit</i>		

Wer tiefer in das Stoffgebiet der Mineralogie eindringen möchte, sollte sich in den mineralogischen Schausammlungen einen ersten Überblick über die Welt der Minerale verschaffen. An einigen Hochschulen bestehen mineralogisch-petrographische Institute oder entsprechende Abteilungen. Sie verfügen über ein mehr oder weniger umfangreiches Belegmaterial. Aber auch viele Heimatmuseen, besonders in Bergbaugebieten, zeigen Proben von Mineralen und Gesteinen. Die Mitarbeiter der öffentlichen Sammlungen werden gewiß bereit sein, interessierten Liebhabern Ratschläge zu erteilen. Fast immer kennen sie die Mineralfundpunkte der näheren und weiteren Umgebung. Freilich sollte man mineralogische Schausammlungen des öfteren besuchen und sich gründlich orientieren – mit einem einmaligen Besuch ist es nicht getan.

Sehenswerte Sammlungen befinden sich in der DDR in folgenden Städten:

Freiberg (Sachsen): Sammlungen der Sektion Geowissenschaften der Bergakademie, Brennhausgasse 16

Berlin: Mineralogische Sammlung im Naturkundemuseum, Invalidenstr. 43

Dresden: Staatliches Museum für Mineralogie und Geologie, Augustusstr. 2.

Wer selbst sammeln will, muß sich darüber unterrichten, wo Erze und andere mineralische Rohstoffe gewonnen und verarbeitet werden. In Gebieten mit Bergbau ist es verhältnismäßig einfach, sich Mineralproben zu beschaffen. Ab und zu wird es sogar möglich sein, von einem Mineral größere Mengen zu erhalten. Vielleicht kommt dieses Mineral in anderen Gebieten nicht häufig vor, so daß es auch als Tauschobjekt dienen kann. Durch eigene Sammeltätigkeit, durch Tausch mit anderen Mineralliebhabern und durch gelegentliche Käufe läßt sich eine Sammlung nach und nach vervollständigen.

Seine Geländerrouten bereitet der Sammler am besten anhand einer geologischen Karte vor. Diese Karten enthalten nicht nur Angaben über den geologischen Aufbau eines Gebietes, sondern sie verzeichnen auch die wichtigsten Aufschlüsse. Unter einem „Aufschluß“ verstehen wir Stellen, an denen das Gestein unverhüllt vom Verwitterungsschutt oder von der Bodendecke zutage tritt. Natürliche Aufschlüsse sind steile Berghänge, Taleinschnitte, Kliffe am Meeresstrand u.a.m. Künstliche Aufschlüsse stellen Bergwerke und Tagebaue dar, aber auch Straßeneinschnitte, Baugruben und Bohrungen rechnen dazu. Wer aufmerksam umherstreift, wird des öfteren auf anstehendes Gestein stoßen, sei es im Gebirge, im Flachland oder am Meer. Häufiger als einzelne Minerale wird er Gesteine vorfinden, deren Bestandteile zu bestimmen er sich üben sollte. Nicht selten lassen sich jedoch auch einzelne Minerale in Klüften und Hohlräumen von Gesteinen beobachten. Bereits im Gelände muß eine Auswahl getroffen werden, denn nicht alles, was man entdeckt und untersucht, lohnt es mitzunehmen.

Für die Arbeit im Gelände benötigen wir einige Werkzeuge. Unentbehrlich ist ein *Hammer* zum Abschlagen und Zerkleinern von Gesteins- und Mineralproben. Das Gewicht des Hammers soll etwa 500 g betragen und der Stiel etwa 50 cm lang sein. Zum Freilegen von Kluft- und Drusenräumen eignet sich am besten ein Geologenhammer. In vielen Fällen ist es vorteilhaft, mehrere *Meißel* mitzuführen, um mit ihrer Hilfe den Gesteinsverband zu lockern. Man benutzt sie auch dazu, die Stücke in ein geeignetes Format zu bringen, denn mit einem Hammer wird der Ungeübte Gefahr laufen, gut entwickelte Kristalle zu zerschlagen. Eine *Lupe*, eine *Strichtafel*, ein *Taschenmesser* für die provisorische Härtebestimmung und unter Umständen eine Kunststoffflasche mit verdünnter Salzsäure zum Prüfen auf Karbonat ergänzen die Ausrüstung.

Die zum Mitnehmen ausersehenen Proben muß man noch im Aufschluß genau beschriften und sodann sorgfältig verpacken. Schon manche gute Kristallstufe hat ihren Wert verloren, weil der Fundort vergessen wurde. Wenn eine topographische Karte vorhanden ist, dann kann die Fundstelle mit einem Nadelstich markiert und auf der Rückseite der Karte numeriert werden. Ist es nicht möglich, das Mineral im Gelände sicher zu bestimmen, dann begnügen wir uns mit der Angabe des Fundortes und einer Nummer. Es empfiehlt sich, das Datum zu notieren, um Verwechslungen auszuschließen:

Nr. 12

Drusenminerale im Granit
(nicht näher bestimmbar)

Fundort: Steinbruch Knaupsholz westlich
von Drei-Annen-Hohne (Harz)

Datum: 28. Juli 1962

Auf diesem Fundortzettel kann auch der Name des Sammlers eingetragen werden. Wer sicher gehen will, schreibe alle Angaben auf einen Block durch und lege nur die Durchschrift zur Probe. Er kann außerdem ein kleines Stück selbsthaftendes Industrieband an die Probe kleben und mit der Fundnummer beschriften.

Viel Sorgfalt sollten wir dem Verpacken der zum Mitnehmen bestimmten Mineralproben widmen. Frei aufgewachsene Kristalle müssen mit Watte und Papier so verhüllt werden, daß sie beim Transport nicht abbrechen können. Natürlich hängt es von der Beschaffenheit der jeweiligen Stufe ab, wie sie verpackt werden muß. Keinesfalls sollte man derbe Stücke und gut ausgebildete Kristalle zusammen unterbringen. Die wertvollen Stufen gehören in kleine, feste Schachteln oder Dosen, in denen der Zwischenraum mit Watte oder Papier ausgestopft wird. Einzelkristalle bringen wir am besten in kleinen Glasröhrchen oder Kunststoffbehältern unter. Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß der Anfänger dazu neigt, alle einigermaßen ansehnlichen Fundstücke mitzunehmen. Es ist aber besser,

gleich am Fundpunkt zu prüfen, was in die eigene Sammlung aufgenommen werden soll und welche Stücke sich für einen eventuellen Tausch eignen. Alles weitere Material würde die Sammlung, für die meist ein sehr begrenzter Raum verfügbar ist, nur belasten und muß deshalb zurückbleiben. Auch sollten wir bereits im Aufschluß eine bestimmte Größe bevorzugen. Freilich wird das Format der Objekte innerhalb gewisser Grenzen schwanken, jedoch dürfte im Durchschnitt ein Format zwischen $4,5 \times 7,0$ cm und $7,0 \times 9,0$ cm am besten geeignet sein. Größere Stufen bewahre man nur dann auf, wenn es sich um ausgesprochen gute Schaustücke handelt, die unter Umständen auch in einem Museum ihren Platz finden könnten. An kleineren Stücken werden lediglich *gut ausgebildete Einzelkristalle* aufgenommen. Diese bewahren wir am besten in wattegepolsterten Glasröhrchen auf.

Die im Gelände aufgesammelten Proben werden zu Hause gesäubert. Meist genügt es, das Material mit einem harten Pinsel unter fließendem Wasser abzubürsten. Eine Behandlung mit verdünnter Salzsäure empfiehlt sich nur in den Fällen, wo Kristalle von Verwitterungshäuten überzogen sind. Vor dem Reinigen ist die Beschaffenheit der Probe zu untersuchen. Empfindliche Gipsrasen dürfen selbstverständlich nicht mit der Bürste gereinigt und kalzihaltige Stufen nicht mit verdünnter Salzsäure behandelt werden.

Anschließend bestimmt man die Funde, soweit das nicht bereits im Gelände geschehen ist. Mit der einwandfreien Bestimmung der Minerale steht und fällt der Wert jeder Sammlung. Diese Arbeit setzt Geduld und Ausdauer voraus. Auch läßt sich ein Fund nicht immer allein nach den äußeren Kennzeichen sicher identifizieren. Oft müssen Untersuchungen mit einem Polarisationsmikroskop oder röntgenographische Daten das Resultat sicherstellen. Die Methoden, welche dabei anzuwenden sind, können in einem Buch wie dem vorliegenden nicht behandelt werden. In den mineralogischen Standardwerken findet man sie ausführlich beschrieben. Der Anfänger arbeite in komplizierten Fällen mit Fachmineralogen zusammen. Eine vollständige Bestimmung muß folgendes erfassen:

1. *Hauptmineral* (es sollte deutlich erkennbar und, sofern Kristalle vorliegen, unversehrt sein);
2. *Begleitmineral* bzw. -minerale;
3. gegebenenfalls die *Natur des Gesteins*, auf dem bzw. in dem sich das Mineral befindet.

In unsere Sammlung nehmen wir *das jeweils beste Stück* auf. Nur wenn verschiedene Ausbildungsarten ein und desselben Minerals vorliegen (Kristall, und derbe Ausbildung, verschiedene Form oder Farbe), kann es gerechtfertigt sein, mehrere Proben aufzubewahren.

Unbedingt erforderlich ist es, das Sammlungsobjekt eindeutig zu beschriften. Nehmen wir an, bei der genauen Untersuchung hat sich herausgestellt, daß unsere im Granitsteinbruch aufgesammelte Mineralprobe vor allem gut kristallisierten *Chabasit* zeigt, der von den Mineralen Epidot, Rauchquarz und Orthoklas begleitet wird. Dann müßte das endgültige Etikett folgendermaßen aussehen:

Chabasit XX

Rauchquarz, Orthoklas und Epidot auf Granit

Vorkommen: Steinbruch Knapsholz westlich
Drei-Annen-Hohne (Harz)

Die Nummer ist jetzt die fortlaufende Sammlungsnummer im Unterschied zur Zahl auf dem Geländezettel. Sie wird am besten an der Unterseite oder einer unscheinbaren Stelle der Stufe aufgeklebt. Auf der Rückseite des Etiketts kann notiert werden, wie das Mineral erworben wurde. Wenn man es selbst gesammelt hat, gibt man das Fundjahr an, bei gekauften Stufen den Preis und bei getauschten den Namen des Tauschpartners. Auch das Gewicht der Probe in Gramm kann dort verzeichnet werden.

Umfaßt die Sammlung eine größere Zahl von Mineralen, dann ist es von Vorteil, die Proben nach der laufenden Nummer und außerdem alphabetisch nach den Mineralnamen zu registrieren. Auf diese Weise läßt sich dann schnell herausfinden, ob man zum Beispiel mehrere Stufen mit Chabasit besitzt und von welchen Vorkommen sie stammen.

Es gehört zur eindeutigen Beschriftung, den Fundort möglichst exakt anzugeben. Viele mit großer Mühe zusammengetragene Minerale sind für wissenschaftliche Zwecke wertlos, weil die Fundstelle entweder gar nicht oder ungenau notiert wurde. Besonders bei ausländischen Vorkommen begnügt man sich oft mit großzügigen Hinweisen, wie Ural, Nordamerika, New Jersey usw. Auch die Beschriftung „*Topas*, Erzgebirge“ ist unzureichend. Nicht immer wird es möglich sein, den *Aufschluß* anzugeben, dann sollte aber zumindest ein nahegelegener Ort auf das Etikett geschrieben und in das Register eingetragen werden. Bei Eigenfunden muß selbstverständlich eine präzise Angabe einschließlich genauer Bezeichnung des Fundpunktes vorliegen. Wir gehen davon aus, daß aufgesammelte Minerale später manchmal dazu dienen, wissenschaftliche Fragen zu beantworten. Oft sind, wenn Probleme auftauchen, die interessierenden Vorkommen bereits erschöpft oder, falls es sich um alte, aufgelassene Gruben handelt, nicht mehr zugänglich. Für solche Untersuchungen haben aber nur die Minerale einen Wert, deren Fundstelle möglichst genau angegeben ist.

Nach welchen Gesichtspunkten soll man nun sammeln? Das hängt nicht zuletzt von den Möglichkeiten und Neigungen des einzelnen ab. Am leichtesten zu bewerkstelligen ist der Aufbau einer *Lokal-* oder *Regional-sammlung*. Darin werden nur Minerale aus einem bestimmten Vorkommen bzw. Gebiet aufgenommen. Derartige Sammlungen können, um einige Beispiele zu geben, Minerale aus dem Freiburger Lagerstättengebiet, aus dem Harz, dem Thüringer Wald oder dem Erzgebirge enthalten. Mehr Schwierigkeiten bereitet es, eine *systematische Sammlung* aufzubauen. In ihr sind

die Minerale nach kristallchemischen Gesichtspunkten geordnet, so wie wir es in dem Abschnitt „Die chemische Zusammensetzung der Minerale“ (S.102) beschrieben haben. Eine genaue Zuordnung läßt sich vornehmen, wenn wir uns auf ein neueres Buch über spezielle Mineralogie oder auf kristallchemische Tabellen stützen (siehe Literatur am Ende dieses Abschnitts). Wer jedoch eine einigermaßen gute systematische Sammlung anlegen möchte, wird seine eigenen Funde durch Tausch oder Kauf ergänzen müssen. Weitere Themen für den Aufbau einer Sammlung wollen wir nur andeuten. Man kann von der Kristallgestalt oder der Verwendung der Minerale ausgehen. Das führt zu *Kristallsammlungen*, geordnet nach Kristallsystemen und -klassen, zu *Sammlungen nutzbarer mineralischer Rohstoffe* und zu *Edelsteinsammlungen*. Die Zusammenstellung von Mineralen aus einer einzigen Lagerstätte kann wertvoll sein, wenn darin *alle* in dieser Lagerstätte auftretenden Minerale erfaßt sind. Es gibt also viele Möglichkeiten, zwischen denen wir wählen können.

Nun noch ein Wort zu der Frage, wie wir unsere Sammlung aufbewahren und unterbringen. Zu jeder Mineralstufe gehört eine Schachtel. Aus ästhetischen Gründen verwende man nur gleichartige Schachteln mit aufeinander abgestimmten Formaten (zum Beispiel $4,5 \times 7,0$ cm; $7,0 \times 9,0$ cm; $9,0 \times 12,0$ cm; 2 cm hoch). Zuerst kommt das Etikett in passender Größe in die Schachtel. Damit die Beschriftung lange erhalten bleibt, schütze man das Etikett durch eine Glasplatte und lege erst dann die Probe darauf. Alle Proben sollten in einem geeigneten Schrank, am besten einem Sammlungsschrank mit einzelnen Schubkästen, staubfrei aufbewahrt werden. Eine einfache Ausführung, die für den Anfang genügt, sieht man auf Abbildung 54 (S.132). Berücksichtigen wir diese knappen Hinweise, dann wird uns bereits eine kleine Sammlung mit eindeutig bestimmten Mineralen und mit ordnungsgemäßer Beschriftung viel Freude bereiten und zum weiteren Studium anregen.

Zuletzt einige Literaturhinweise:

Viele praktische Ratschläge vermittelt dem Sammler das Buch:

W.LIEBER: Der Mineraliensammler (Über den Aufbau von Sammlungen und was man dazu wissen sollte), Thun und München, 1963

Den Aufbau einer systematischen Sammlung erleichtern folgende Werke:

H.STRUNZ: Mineralogische Tabellen, Leipzig, 1966

A.G.BETECHTIN: Lehrbuch der speziellen Mineralogie, Leipzig, 1964

Eine verständliche Einführung in die Gesteinskunde gibt:

H.SCHUMANN: Einführung in die Gesteinswelt, Göttingen, 1950

Mit den geologischen Grundlagen macht den Liebhaber vertraut:

K.v.BÜLOW: Geologie für Jedermann. Eine erste Einführung in geologisches Denken, Arbeiten und Wissen, Urania-Verlag, Leipzig, 1956

Mit diesen knappen Literaturhinweisen, die sich auf wenige, vor allem für den Sammler nützliche Werke beschränken, wollen wir den allgemeinen Teil abschließen.

MINERALVERZEICHNIS

Die gebräuchlichsten Namen sind im Druck nicht hervorgehoben. Andere wichtige und verbreitete Bezeichnungen sowie die Edelsteinnamen und die Namen seltener Minerale, auf die im rohstoffkundlichen Teil hingewiesen wird, erscheinen in Schrägschrift. Seitenziffern in Schrägschrift verweisen auf die ausführliche Beschreibung des Minerals.

<i>Achat</i> 67, 85, 437	<i>Antimonglanz</i> 111, 196	Biotit 25, 27, 121, 124, 136, 167, 170, 291, 420	Carnallit 103, 155, 159, 271, 400, 404, 406
Adamin 324	Antimonit 196, 397	Bischofit 275, 406	Carnotit 105, 253, 416
Ägirin 370	Apatit 76, 78, 84, 105, 140, 345, 410	<i>Bismuthinit</i> 185	Chabasit 84, 146, 340
Akanthit 413	Apophyllit 343	Bismutit 295	Chalkanthit 289
Akmit 370	<i>Aquamarin</i> 430	<i>Bittersalz</i> 281	<i>Chalkopyrit</i> 103, 216, 404
Aktinolith 361	Aragonit 84, 85, 104, 134, 327	<i>Bitterspat</i> 337	Chalkosin 200, 494
Albit 64, 101, 130, 170, 369	Argentit 153, 197, 413	<i>Blätterserpentin</i> 295	<i>Chalzedon</i> 161, 437
<i>Alexandrit</i> 392, 430	Arsen 98, 213, 397	<i>Blaueisenerz</i> 105, 274	Chamosit 261, 401
Allophanit 152, 318	Arsen kies 73, 99, 191, 398	Bleiglanz 34, 42, 76, 103, 134, 143, 198, 399	<i>Chilesalpete</i> 104, 273
Almandin 111, 170, 380	<i>Arsenopyrit</i> 191, 398	Blei 98	Chloanthit 28, 210, 408
Altaït 414	<i>Asbest</i> 361, 419	Bleihorn erz 293	Chlorargyrit 274
Alunit 331, 397	Ascharit 104, 322	Böhmit 152, 283, 397	Chlorit 126, 130, 152, 165, 170, 279
<i>Amazonit</i> 438	Ätakamit 103, 262	Borazit 104, 163, 387	Chloritoid 367
Amblygonit 140, 367, 406	Augit 63, 120, 124, 126, 135, 352	Borax 159, 280, 399	<i>Chloromelanit</i> 439
<i>Amethyst</i> 68, 73, 434	Aurichalzit 270	Bornit 103, 222, 405	Chondrodit 371
<i>Amethystquarz</i> 436	Auripigment 73, 134, 248	<i>Borsäure</i> 268	<i>Chromeisenerz</i> 103, 237
Amphibole 111	Auromirid 409	Boulangerit 199, 399	Chromit 103, 135, 151, 237, 400
Analzim 357	Autunit 84, 248, 416	Bournonit 200, 399	Chrysoberyll 140, 392
Anatas 363	<i>Aventurin</i> quarz 436	<i>Braunbleierz</i> 328	Chrysokoll 287
Andalusit 130, 165, 170, 383, 421	Axinit 375	<i>Brauneisenerz</i> 233	<i>Chrysopras</i> 437
Andesin 101, 369	Azurit 65, 68, 73, 265	<i>Brauner Glaskopf</i> 233	Chrysotil 286
Andradit 380	Baddeleyit 418	Braunit 229, 407	Coesit 44
Anglesit 84, 134, 293	Baryt 79, 105, 145, 318, 398, 419	<i>Braunspat</i> 324	Colemanit 85, 159, 337, 399
Anhydrit 105, 155, 156, 159, 325, 419	<i>Basnäsit</i> 417	Brochantit 105	<i>Cooperit</i> 410
Ankerit 324	Bauxit 152, 155, 283	Bronzit 111, 357	Copiapit 250
Annabergit 105, 260	Benitoit 85, 107, 373	Brookit 239	Cordierit 68, 130, 167, 170, 385
Annivit 202	<i>Bergkristall</i> 32, 66, 68, 434	Brucit 288	<i>Coulsonit</i> 416
Anorthit 101, 138, 170, 369	Beryll 39, 139, 140, 151, 389, 398	<i>Buntkupferkies</i> 103, 222	Covellin 73, 153, 224
Anthophyllit 358		Bytownit 101, 369	Cristobalit 379
Antigorit 296		Calaverit 214	
Antimon 98, 187, 397		Cancrinit 347	
<i>Antimonblüte</i> 287			

- Danburit 387
 Datolith 347
 Descloizit 152, 231, 416
 Desmin 28, 146, 330
 Diamant 30, 37, 39, 42, 76, 85, 102, 151, 394, 419, 429
 Diopsid 107, 170, 351
 Dioptas 263
 Disthen 76, 130, 166, 170, 336, 421
 Dolomit 84, 104, 155, 156, 160, 326, 406, 419
 Dumortierit 140
Dunkles Rotgültigerz 103, 221
 Dyskrasit 188

 Eisen 98, 102, 204, 400
Eisenglanz 103, 134, 247
Eisennickelkies 216
Eisenpecherz 349
Eisenspat 46, 104, 336
Eläolith 361
 Embolit 274
 Enargit 201, 405
 Enstatit 356
 Epidot 84, 126, 130, 146, 170, 375
 Epsomit 134, 159, 281
 Erythrin 243
 Eudialyt 350
 Euklas 28, 140
 Eulytin 356

Fahlerze 28, 202, 413
Falkenauge 436
Faserserpentin 286
 Fayalit 101
Federerz 199
 Feldspat 25, 65, 419

 Ferberit 234
 Fergusonit 140, 417
 Fluorit 30, 39, 68, 74, 76, 84, 85, 103, 140, 145, 163, 335, 401, 420
Flußspat 34, 68, 103, 335, 419
 Formanit 414
 Forsterit 101
 Franklinit 213, 218
Freibergit 202

 Gadolinit 140, 379, 398, 401, 417
 Gahnit 390
Galenit 103, 198
 Garnierit 152, 261, 408
Gelbbleierz 105, 316
Gelbeisenerz 251
Gelbnickelkies 215
Germanit 402
 Gersdorffit 189, 408
 Gibbsit 104, 283, 397
 Gips 63, 76, 78, 105, 134, 155, 156, 159, 272, 420
 Glauberit 159, 294
 Glaubersalz 159
 Glaukonit 256
 Glaukophan 372
 Glimmer 32, 63, 130, 152, 420
 Goethit 104, 235
 Gold 73, 78, 98, 102, 151, 214, 402
 Grammatit 84, 85, 170, 364
 Granate 151, 166, 380, 420
 Graphit 28, 42, 66, 102, 194, 420
 Greenockit 245
 Grossular 130, 380
Grünbleierz 333
 Gummit 250

Haarkies 215
 Hämatit 103, 121, 145, 247, 400

 Halit 103, 134, 155, 156, 159, 276, 400, 408
 Halloysit 152
Hartmanganerz 229
 Hausmannit 237, 407
 Hauyn 360
 Hedenbergit 264
Hellotrop 437
 Hemimorphit 59, 84, 339, 418
 Heterogenit 404
 Heulandit 330
Hiddenit 433
Honigstein 107, 282
 Hornblende, gem. 63, 78, 120, 124, 136, 238
Hornsilber 274
 Hübnerit 234
 Humboldtinit 107, 249
 Hyalit 28, 85
 Hydrargillit 104, 152
Hydrozinkit 84, 85, 283
 Hypersthen 254

Idokras 372
 Illit 152, 155
 Ilmenit 135, 140, 151, 227, 415
 Ilvait 28, 228
Indigolith 431
 Iridium 98, 403
 Iridosmium 409

Jade 438
Jadeit 378, 439
 Jamesonit 199
 Jarosit 251
Jaspis 436
 Jodargyrit 28
 Jodobromit 274

 Kainit 105, 159, 316, 400
 Kakoxen 252
 Kalisalpeter 104, 159, 277

Kalkspat 46, 104, 296, 420
Kalkuranglimmer 248
Kallait 355
 Kalomel 84, 272
 Kalzit 30, 37, 62, 65, 76, 84, 85, 104, 121, 126, 128, 143, 155, 156, 160, 164, 296, 404, 420
 Kaolinit 152, 155, 267
Karneol 437
 Karpholith 28, 360
Kassiterit 103, 230, 418
Kastor 373
Katzenauge, edles 430
Kerargyrit 274
 Kernit 159, 290, 399
Kieselzinkerz 59, 339, 418
 Kieserit 105, 159, 323
 Kliachit 152, 283, 397
Kobaltblüte 243
Kobaltglanz 191, 404
Kobaltin 191
Kobaltkies 189
Kolumbit 240, 408
Koppit 236
 Kornerupin 383
 Korund 30, 76, 78, 103, 139, 151, 393, 420
 Krennerit 402
 Krokoit 73, 105, 245
 Kryolith 103, 140, 292
Kunzit 433
 Kupfer 39, 41, 73, 78, 98, 102, 220, 405
Kupferglanz 200, 405
Kupferindig 224

Kupferkies 73, 103, 134, 216, 405	Mellit 107, 282	Ottrelith 367	Quarz 25, 30, 32, 43, 63, 76, 79, 84, 85, 103, 120, 124, 126, 128, 139, 142, 145, 148, 155, 161, 164, 165, 167, 381, 421
<i>Kupferlasur</i> 265	Mikrokin 120, 124, 365	Osmiridium 409	
<i>Kupferuranglimmer</i> 255	Mikrolith 414	Osmium 98	
Kuprit 246	Milchquarz 68	<i>Oxalit</i> 107, 249	
<i>Kyanit</i> 336	Millerit 215	Palygorskit 282	
	Mimetesit 333	Palladium 98, 409	
	Molybdänglanz 66, 73, 103, 140, 142, 194, 407	Pandemit 159, 323	
Labrador 73, 101, 369	<i>Molybdänit</i> 103, 194, 407	Paragonit 288	<i>Quarzkatzenaugen</i> 436
Labradorit 438	Monazit 105, 140, 151, 348, 406, 415, 417	Patronit 416	Quecksilber 98, 102, 185, 410
<i>Lapislazuli</i> 266, 435	<i>Mondstein</i> 438	<i>Pechblende</i> 225, 415	<i>Quecksilberhornerz</i> 272
Lasurit 266	Montmorillonit 152	Pektolith 84, 345	
<i>Laurit</i> 411	<i>Moosachat</i> 437	Pentlandit 216, 408	
Lazulith 105	<i>Mottramit</i> 152, 231	<i>Peridot</i> 432	
Lepidokrokit 254	Muskovit 107, 121, 124, 140, 167, 170, 278, 420	Periklas 363	
Lepidolith 140, 285, 406		<i>Perlglimmer</i> 334	<i>Rädelerz</i> 200
Leuzit 126, 351		Perowskit 362	<i>Rasorit</i> 290
<i>Lichtes Rotgültig-</i> <i>erz</i> 220		Petalit 140, 373, 406	<i>Rauchquarz</i> 146, 434
<i>Liebrit</i> 228		Phenakit 140, 389, 398	Realgar 68, 134, 243
Limonit 65, 73, 126, 128, 153, 233, 400		Phlogopit 284	<i>Renierit</i> 402
Linarit 266	<i>Nadeleisenerz</i> 104, 235	Phosgenit 84, 293	<i>Rhodochrosit</i> 333, 407
Linneit 189	Nagyagit 402, 414	Pimelit 152	Rhodonit 84, 364
<i>Lithiumglimmer</i> 285, 420	Natrit 159, 269	Plagioklas 65, 78, 101, 120, 124, 126, 135, 170, 369	<i>Rotbleierz</i> 105, 245
Löllingit 190, 398	<i>Natronglimmer</i> 288	Platin 78, 98, 102, 151, 203, 410	<i>Roteisenstein</i> 134, 247
Loparit 239	Natrolith 111, 348	Polianit 211	<i>Rotkupfererz</i> 246
Ludwigit 28	Natronsalpeter 46, 104, 159, 273	Polluzit 140, 417	<i>Rotnickelkies</i> 223, 408
	Nephelin 84, 124, 126, 137, 361, 397	Polybasit 212	<i>Rotzinkerz</i> 253, 418
Maghemit 400	<i>Nephrit</i> 361	Polyhalit 159, 322	<i>Rubellit</i> 431
Magnetit 337, 421	<i>Nickelblüte</i> 105, 255	Powellit 84, 85, 252	<i>Rubin</i> 151, 429
<i>Magnesiopinel</i> 391, 406	Nickelin 223, 408	<i>Prasem</i> 436	<i>Rubinglimmer</i> 254
<i>Magneteisenerz</i> 227	Nickelpyrit 218	Prehnit 370	Rutil 140, 151, 242, 415, 421
Magnetkies 85, 217	Niobit 140, 240, 409	<i>Priceit</i> 323	
Magnetit 73, 78, 85, 103, 121, 130, 146, 151, 227, 400	<i>Nitrokali</i> 104, 277	<i>Prismatin</i> 383	Safflorit 188, 404
Malachit 65, 73, 262	<i>Nitronatrit</i> 104, 273	Proustite 220, 413	Salmiak 134, 271
Manganit 233, 407	Nosean 358	Psilomelan 226	Samarskit 140, 236
<i>Manganspat</i> 46, 143, 333	Oligoklas 101, 369	Pumpellyit 146	Sanidin 120, 126, 365
Margarit 334	Olivin 107, 124, 126, 135, 376	Pyrit 63, 65, 74, 103, 134, 153, 218, 401, 412	<i>Saphir</i> 151, 429
Markasit 28, 219	Opal 73, 84, 85, 134, 368, 437	Pyroargyrit 103, 221, 413	<i>Saphirquarz</i> 436
Maucherit 204	Orthit 241	Pyrochlor 236, 409	Sassolin 134, 268, 399
<i>Meerschau</i> 281	Orthoklas 64, 76, 78, 111, 120, 124, 136, 146, 152, 365	Pyrolusit 224, 407	<i>Schalenblende</i> 232
<i>Melakonit</i> 225		Pyromorphit 328	Scheelit 84, 85, 105, 140, 324, 417
		Pyrop 380	<i>Schrifterz</i> 196
		Pyrophyllit 165, 269, 421	Schuchardt 152
		<i>Pyrrhotin</i> 217	<i>Schwazit</i> 202

- Schwefel 98, 102, 134, 275, 412, 421
Schwefelkies 103, 218, 412
Schwerspat 79, 105, 318, 398, 419
 Selen 98
 Senarmontit 397
 Sepiolith 85, 281
 Serizit 170
 Serpentin 84
 Siderit 104, 145, 336, 401
 Silber 78, 98, 102, 186, 413
Silberglanz 197
 Sillimanit 167, 170, 374, 421
 Skapolith 354
 Skorodit 332
 Skutterudit 192, 404
Smaltin 192
Smaragd 430
 Smithsonit 346, 418
Soda 269
 Sodalith 84, 354
Spekularit 247
Speiskobalt 192, 404
 Sperryolith 193, 410
 Spessartin 380
Sphalerit 103, 231, 418
Sphen 353
 Spinell 84, 151, 391
 Spodumen 140, 377, 406
 Stannin 203
Staßfurtit 163, 387
 Staurolith 130, 166, 170, 384
Steinsalz 39, 41, 46, 63, 76, 84, 103, 155, 276, 400
 Stephanit 212
Stibnit 196
 Stibiopalladinit 102, 409
 Stishovit 44
 Stolzit 84, 85
 Strahlstein 361
Strohstein 360
 Strontianit 163, 329, 413
 Sylvanit 196, 402, 414
 Sylvin 103, 128, 155, 159, 277, 400, 404
 Tachyhydrit 278
 Talk 76, 268, 421
 Tantalit 140, 240, 414
 Tellur 98
 Tellurbismutit 414
Tellurwismut 195
 Tennantit 202
 Tenorit 134, 225
 Tetradrit 202
 Tetradymit 195
 Thenardit 159, 286
 Thomsonit 350
 Thorit 140, 415
 Thortveitit 107, 140, 413
 Thuringit 280, 401
Tigerauge 436
Tinkal 280
Titaneisen 227
 Titanit 353
 Titanomagnetit 135
 Topas 76, 140, 142, 151, 390, 432
 Torbernit 255, 416
Tremolit 364
 Tridymit 134, 378
 Triphylin 140, 340
 Triplit 349
 Trona 159
 Türkis 355, 435
 Turmalin 68, 101, 140, 142, 146, 151, 368, 431
 Ulexit 85, 104, 159, 268, 399
 Uraninit 140, 225, 415
 Uranozirzit 84, 256
Uranpecherz 225
 Uranophan 84, 249
Uranotil 84, 249
 Uwarowit 381
 Valentinit 287, 397
Vanadinbleierz 317
 Vanadinit 317
 Variszit 341
 Vesuvian 372
 Vivianit 105, 274
 Wavellit 326
Weichmanganerz 224
Weißbleierz 320
Weißnickelkies 210
 Wernerit 84
 Whewellit 107, 290
 Willemmit 85, 359
 Wismut 98, 186, 416
Wismutblende 356
Wismutglanz 185, 416
Wismutocker 295
 Witherit 85, 145, 321, 398, 419
 Wolframit 66, 105, 140, 142, 234, 416
 Wollastonit 84, 85, 164, 324, 422
 Wulfenit 99, 105, 298, 407
 Wurtzit 232, 418
 Xenotim 140, 338, 417
Ytterspat 338
 Yttrfluorid 140
 Zerit 417
 Zerussit 84, 320
 Zinkblende 39, 75, 103, 134, 143, 231, 418
 Zinkblüte 283
 Zinkit 258, 418
Zinkspat 46, 346, 418
Zinkspinell 390
 Zinn 98
Zinnabarit 244
Zinnkies 203
 Zinnober 73, 75, 134, 151, 244, 410
 Zinnstein 66, 78, 103, 140, 142, 151, 230, 418
 Zinnwaldit 140, 285
 Zirkon 84, 140, 151, 388, 418, 431
Zitrin 68, 434
 Zoisit 170, 366
 Zölestin 105, 163, 320

ZWEITER TEIL

HINWEISE ZUR MINERALBESTIMMUNG

*Leitsatz: Ein einziges Merkmal
reicht für die Bestimmung eines Minerals
nur selten aus.*

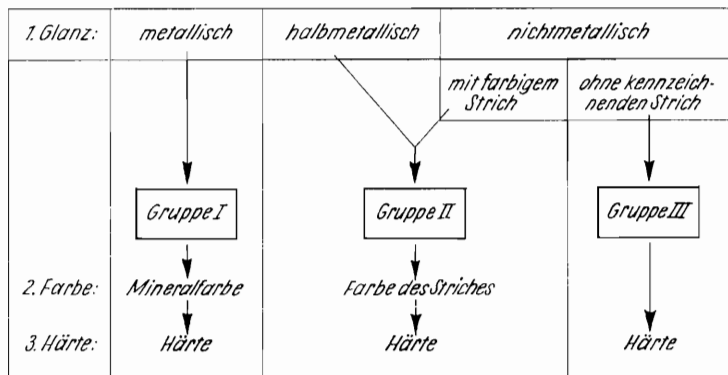
Der folgende Teil des Buches dient der praktischen Mineralbestimmung nach äußeren Kennzeichen. Die Reihenfolge, in der die Minerale angeordnet sind, entspricht der bewährten Gliederung nach *Glanz* und *Strich*. Wir unterscheiden drei Hauptgruppen:

- Gruppe I: *Metallisch glänzende Minerale*. Für die weitere Untergliederung sind Farbe des Minerals und steigende Härte maßgebend.
- Gruppe II: *Halbmetallisch glänzende Minerale und nichtmetallisch glänzende Minerale, die einen farbigen Strich geben*.
Innerhalb dieser Gruppe wird weiter untergliedert nach Strichfarbe und steigender Härte.
- Gruppe III: *Nichtmetallisch glänzende Minerale, die farblich keinen charakteristischen Strich liefern (grau bzw. weiß) oder auf Grund ihrer großen Härte gar keinen Strich ergeben*. Wir unterscheiden in dieser Gruppe verschiedene Härteklassen.

Um ein Mineral einer dieser drei großen Gruppen zuzuordnen, müssen wir lediglich den allgemeinen Glanz bestimmen und feststellen, ob das Mineral einen Strich liefert oder nicht. Das kann sehr einfach und schnell geschehen. Im Zweifelsfall, wenn wir z. B. nicht sicher zwischen Metallglanz und Halbmetallglanz zu unterscheiden vermögen, suchen wir in beiden Gruppen nach einem Mineral, dessen beschriebene Eigenschaften mit unseren Beobachtungen übereinstimmen.

Die nächsten Merkmale, auf die wir achten müssen, sind die *Farbe des Minerals* (Gruppe I), die *Farbe des Strichs* (Gruppe II) und die *Härte* (Gruppe I, II und III). Anhand des Schlüssels auf Seite 184 können wir uns orientieren, wo die in Frage kommenden Minerale beschrieben werden. *Ein Beispiel:* Wir wollen ein Mineral bestimmen, das ausgesprochen metallischen Glanz besitzt. Es ist grau gefärbt und hat die Härte 3. Alle wichtigen bzw. verbreiteten Minerale, die diese Eigenschaften haben, sind in der Gruppe I auf den Seiten 199 bis 202 behandelt.

Bei der Zuordnung eines Minerals sind folgende Schritte einzuhalten:



Als weitere Bestimmungsmerkmale werden der *spezielle Glanz* und die *Durchsichtigkeit* untersucht, aber auch die *Farbnuance des Minerals* und die *Eigenart des Strichs*. Die *Dichte* schätzen wir vorerst nur, indem wir die Mineralprobe in die Hand nehmen. Dabei müssen wir die Größe des Stücks berücksichtigen. Wenn möglich, ermitteln wir das *Kristallsystem*, zu welchem das Mineral gehört. Auch die *Kristall-* oder *Aggregatform* hilft uns bei der genauen Bestimmung. Das gleiche gilt für die *Spaltbarkeit* und den *Bruch*. Wer bereits über grundlegende Kenntnisse verfügt, wird aus den Begleitmineralen oder aus der Art, in der das Mineral vorkommt, manche wichtige Schlüsse ziehen können. Wir bemühen uns, möglichst viele Eigenschaften durch gründliche Beobachtungen und einfache Untersuchungen herauszufinden. Ständig vergleichen wir die Beobachtungen mit der Beschreibung der in Frage kommenden Minerale, bis wir unser Ziel erreichen: ein Mineral zu bestimmen.

Die Mineralbeschreibung ist so abgefaßt, daß die wichtigsten Kennzeichen schnell zu überblicken sind. Diesen Zweck erfüllt das nachstehende Schema:

Mineralname	chemische Zusammensetzung	Kristallsystem	Härte
(weitere Namen)	(Metallgehalt)		Dichte
Abarten			
Farbe			
Strich			
Glanz und Durchsichtigkeit			
Kristallographische Angaben (einschließlich der Formskizzen und Hinweise auf Bildtafeln)			

Bei den Erzmineralen ist der durchschnittliche Metallgehalt unter der chemischen Formel angegeben. Das Zeichen XX bedeutet Kristalle, das Zeichen OO verwenden wir für derbe Massen.

Es folgen Angaben über *Bildungsweise* und *Vorkommen* der Minerale. Häufige *Begleitminerale* und *ähnliche Minerale* werden aufgeführt und einfache *Unterscheidungsmerkmale* bzw. *Nachweisreaktionen* beschrieben. Wir beschränken uns auf knappe Hinweise.

Eine besondere Hilfe stellen die Kristallskizzen und Mineraalfotos dar. Die Skizzen sollen dem Anfänger einige typische Beispiele vor Augen führen, da es ihm schwerfallen dürfte, MILLERSche Indizes gedanklich in eine bestimmte Gestalt „umzusetzen“. Einem ähnlichen Zweck dienen die zahlreichen Fotos.

Am besten versuchen wir nun selbst anhand der Kenntnisse, die uns der erste Teil dieses Buches vermittelt hat, Minerale zu bestimmen. Vor den etwas schwierigeren chemischen Nachweisreaktionen und den genaueren Dichtebestimmungen sollten wir in Zweifelsfällen nicht zurückschrecken. Auch der Anfänger arbeitet sich gewöhnlich schnell in diese Verfahren ein.

HILFSMITTEL ZUR MINERALBESTIMMUNG

Für einfache Bestimmungen benötigen wir:

einige *Strichtafeln* (oder unglasierte Hartporzellanscherben);
eine *Härteskala*, die wir uns selbst zusammenstellen können;
eine *Lupe* mit 6- bis 12facher Vergrößerung;
einige Geräte zur Zerkleinerung, wie *Hammer*, *Zange*, *Meißel* und eine *Pinzette* zum Auslesen.

Mit diesen wenigen Hilfsmitteln kommen wir am Anfang aus. Wer sich eingehender mit Mineralen befassen will, benötigt für die Dichtebestimmung:

eine *WESTPHALSche Waage* und *Dichteflüssigkeiten* oder
eine *Analysenwaage* und mehrere *Pyknometer* (5–20 ml) oder
eine *hydrostatische Waage* bzw. eine *JOLLYsche Federwaage*.

In allen Schulen sind Instrumente für die Dichtebestimmung vorhanden. Chemische Elemente und die Schmelzbarkeit lassen sich bestimmen, wenn wir eine *Lötrohrausrüstung* und *einige Chemikalien* besitzen.

Die Ausrüstung besteht im einfachsten Falle aus:

einem *Lötrohr*, einer *Kerze* oder *Lötrohrlampe* und einer *Spirituslampe*, *Holzkohle*, *Glaskölbchen* und *-röhrchen*, *Magnesiastäbchen*, einer *Nickelschnabelpinzette* sowie *Borax* und *Phosphorsalz* für die Perlenreaktion. Reaktionen vor dem Lötrohr (im Tabellenteil abgekürzt v.d.L.) geben wichtige Hinweise bezüglich der chemischen Zusammensetzung und einiger physikalischer Eigenschaften.

SCHLÜSSEL FÜR DIE MINERALBESTIMMUNG

Gruppe I: **Metallisch glänzende Minerale**

Farbe:

1. Weiß	185
2. Grau	194
3. Schwarz	212
4. Gelb	214
5. Rot	220

Gruppe II: **Halbmetallisch glänzende Minerale und nichtmetallisch glänzende Minerale, die einen farbigen Strich geben**

Strichfarbe:

1. Schwarz und grau	224
2. Braun	231
3. Rot	243
4. Gelb	248
5. Grün	260
6. Blau	266

Gruppe III: **Nichtmetallisch glänzende Minerale mit grauem, weißem Strich oder ohne Strich**

Härte:

1. Sehr weich (1–3)	268
2. Weich (3–4)	316
3. Mittelhart (4–5)	335
4. Hart (5–6)	345
5. Sehr hart (über 6)	375

Bemerkung: In allen drei Gruppen wird weiter untergliedert nach steigender Härte.

GRUPPE I · Metallisch glänzende Minerale

Metallglanz/Weiß

1 Quecksilber Hg flüssig! D = 13,6

FARBE: zinnweiß, oft mit grauem Überzug

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: lebhafter Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: keine XX, flüssig!

Aggregatform: tropfenförmig, schmierig

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge und deren Verwitterungszone

Moschellandsberg in der Rheinpfalz; Almadén

(Spanien), Idria (Jugoslawien)

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht flüchtig

Zinnober, Quecksilberfahlerz

2 Wismutglanz Bi₂S₃ rhombisch H = 2
(Bismuthinit) 81 % Bi D = 6,4 – 6,6

FARBE: weiß mit bleigrauem Ton, gelbe und bunte Anlauffarben

STRICH: glänzend grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: haarig, nadelig, säulig, spießig, breitstengelig, längsgestreift

Aggregatform: radial- bis verworren-strahlig, büschelig, verfilzt, blätterig, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Längsrichtung) /mild

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, pneumatolytisch

Erzgänge, Pegmatite

Schneeberg, Altenberg, Jáchymow (Joachimsthal) im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Antimonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Kochen und Spritzen sehr leicht schmelzbar; auf Kohle Wismutkorn und gelber Beschlag; Beschlag wird nach Schmelzen mit KJ und S rot

Kupferkies, Pyrit, Magnetit, Wismut, Zinnstein, Stannin

3 Wismut

Bi

trigonal

H = $2\frac{1}{2}$ – 2

D = 9,7 – 9,8

FARBE: rötlich silberweiß, oft bunt oder messinggelb angelaufen

STRICH: bleigrau, metallisch schimmernd

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelig,
dendritisch; XX selten

Aggregatform: gestrickt, federartig, eingesprengt,
dendritisch, derb, blätterig,
körnig, spätig, blechartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/spröde,
schneidbar

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch,
pneumatolytisch, hydrothermal
Erzgänge

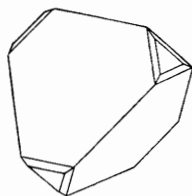
Altenberg, Schneeberg, Annaberg, Jáchymov (Joachimsthal) im Erzgebirge; Wittichen im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Nickelin, Breithauptit, Linneit, Danait

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. vollständig flüchtig; heiß
orangegelber, kalt zitronengelber Beschlag auf Kohle

Smaltin, Chloanthit, Nickelin, Baryt, Bleiglanz; Pyrit, Zinnkies, Wolframit, Molybdänglanz, Arsenkies, Quarz, Wismutglanz

Abb. Seite 205



4 Silber

Ag

kubisch

H = $2\frac{1}{2}$ – 3

D = 9,6 – 12
(rein 10,5)

FARBE: frisch silberweiß, häufig schwarzer Anflug

STRICH: silberweiß, metallisch glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

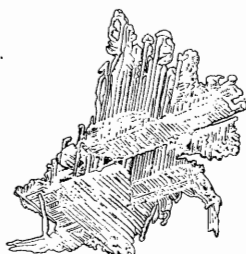
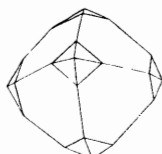
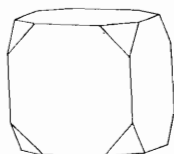
Kristallausbildung: Würfel, Achteckflächner,
meist verzerrt; Zwillinge

Aggregatform: blech-, draht-, zahnförmig; dendritisch, moosförmig; derbe
Massen, Klumpen

Spaltbarkeit/Bruch: hakig; sehr geschmeidig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär
Erzgänge und deren Verwitterungszone, Absatzgesteine
Freiberg, Schneeberg, Jáchymov (Joachimsthal); Mansfeld

Ähnliche Minerale: –



Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; in Salpetersäure löslich, in Salzsäure weißer Niederschlag
Bleiglanz, Pyrit, Chloanthit, Baryt, Siderit, Fluorit, Kalzit, Rhodochrosit, Quarz

Abb. Seiten 10, 205

5 Antimon

Sb

trigonal

H = 3 – 3½

D = 6,6 – 6,7

FARBE: zinnweiß, oft angelaufen

STRICH: bleigrau, schwach metallisch schimmernd

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, würfelig; XX selten und klein

Aggregatform: körnig, blätterig, nierig, derb; eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Erzgänge

Andreasberg/Harz

Ähnliche Minerale: Dyskrasit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar und leicht flüchtig;
Antimonrauch und -beschlag
Antimonit, Smaltin, Kalzit

6 Dyskrasit

Ag_3Sb

rhombisch $H = 3\frac{1}{2} - 4$

75% Ag

$D = 9,4 - 10,0$

FARBE: silberweiß, grau oder goldbraun angelaufen

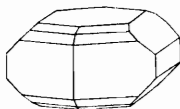
STRICH: dunkelgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, tafelig

Aggregatform: körnig, derb, eingesprengt;
Platten, Knollen

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben;
mild, schneidbar



Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Erzgänge

St. Andreasberg im Harz; Wolfach im Schwarzwald; Ste. Marie aux
Mines (Markirch) in den Vogesen

Ähnliche Minerale: ged. Silber, ged. Antimon

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; Antimon-
rauch; Silberkorn

Bleiglanz, ged. Arsen, Pyrargyrit, ged. Silber, Kalzit, Baryt, Speiskobalt

7 Safflorit

CoAs_2

rhombisch $H = 4\frac{1}{2} - 5\frac{1}{2}$

28% Co

$D = 6,9 - 7,3$

FARBE: zinnweiß, nachdunkelnd

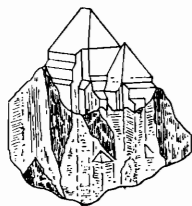
STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: linsenförmig, scheibenförmig;
XX selten

Aggregatform: radialstrahlig, faserig,
gestrickt, körnig, nierig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Blättchen)/uneben
bis muschelrig; spröde



Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Schneeberg, Jáchymov (Joachimsthal) im Erzgebirge; Niederramstadt bei Darmstadt

Ähnliche Minerale: Skutterudit, Chloanthit, Maucherit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; As-Beschlag; im offenen Röhrchen As_2O_3 -Sublimat
ged. Wismut, Nickel, Löllingit, Siderit, Baryt, Fluorit, Speiskobalt

8 Linneit	Co_3S_4	kubisch	$H = 4\frac{1}{2} - 5\frac{1}{2}$
(Kobaltkies)			$D = 4,5 - 4,8$

FARBE: grauweiß mit rötlichem oder gelblichem Stich, kupferrot oder violett-blau anlaufend

STRICH: dunkelgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: Achtflächner oder andere isometrische Formen

Aggregatform: eingesprengt, körnig, selten derb

Spaltbarkeit/Bruch: wechselnd deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch

Erzgänge, Verdrängungen

Siegerland (Müsen, Eiserfeld, Grünau)

Ähnliche Minerale: Kobaltin, Gersdorffit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu magnetischer Kugel schmelzend; SO_2 -Geruch; in Salpetersäure löslich
Kupferkies, Tetraedrit, Bleiglanz, Baryt, Pyrit, Siderit

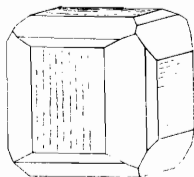
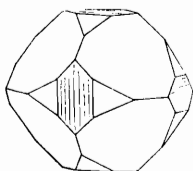
9 Gersdorffit	NiAsS	kubisch	$H = 5$
	35% Ni		$D = 5,6 - 6,2$

FARBE: silberweiß bis stahlgrau, dunkelgrau anlaufend

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen, XX selten



Aggregatform: dicht, körnig, stengelig, blätterig, derb, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Goslar im Harz; Siegerland; Lobenstein im Vogtland

Ähnliche Minerale: Arsenkies, Kobaltin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zerknisternd und zu magnetischer Kugel schmelzend; Arsengeruch; im Kölbchen Sublimat von Arsensulfid; in Salpetersäure löslich

Arsenkies, Pyrit, Kupferkies, Bleiglanz, Quarz, Chlorit

Abb. Seite 205

10 Löllingit

FeAs_2

rhombisch

$H = 5 - 5\frac{1}{2}$

72% As

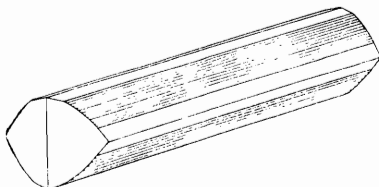
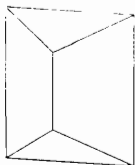
$D = 7,1 - 7,4$

FARBE: silberweiß bis stahlgrau, grau anlaufend

STRICH: schwarzgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: nadelig, kurzsäulig; XX sehr selten; XX eingewachsen



Aggregatform: derb, eingesprengt, körnig, stengelig, faserig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, pneumatolytisch, hydrothermal

Pegmatite, Erzgänge

Andreasberg; Lölling in Kärnten

Ähnliche Minerale: Arsenkies

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schwer schmelzbar; Arsengeruch; im Kölbchen Arsenspiegel
Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Chloanthit, Magnetit, Wismut, Zinnstein, Skorodit, Siderit

Abb. Seite 205

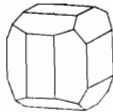
11 Kobaltglanz	CoAsS	kubisch	H = 5½
(Kobaltin)	35% Co	.	D = 6,0 – 6,5

FARBE: weiß mit Stich ins Rötliche oder Stahlgrau; eisenreiche Abarten dunkelgrau bis schwarz

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX eingewachsen



Aggregatform: körnig, derb, nierig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig bis uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch, hydrothermal, metamorph
Erzgänge, Umwandlungsgesteine
Annaberg, Schneeberg

Ähnliche Minerale: Danait, Linneit, Nickelin, ged. Wismut

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schmelzbar; Arsengeruch; in Salpetersäure löslich
Kupferkies, Magnetkies, Molybdänglanz, Erythrin, Magnetit, Hornblende, Augit, Kalzit

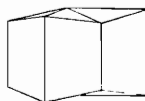
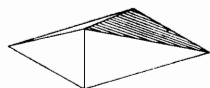
Abb. Seite 205

12 Arsenkies	FeAsS	rhombisch	H = 5½ – 6
(Arsenopyrit)	46% As		D = 5,9 – 6,2

FARBE: zinnweiß (Kristallflächen), stahlgrau (Bruch), oft gelb angelaufen

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig



Kristallausbildung: säulig, tafelig, achthöckerförmig; XX einzeln, eingewachsen, zuweilen in Drusen

Aggregatform: körnig, strahlig, faserig, derb, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch, hydrothermal, metamorph
Erzgänge, Umwandlungsgesteine
St. Andreasberg, Alexisbad (Harz); Ehrenfriedersdorf, Altenberg, Freiberg (Sachsen)

Ähnliche Minerale: Löllingit, Chloanthit, Skutterudit, Pyrit, Markasit, Magnetkies

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu schwarzer Kugel schmelzend,
Arsengeruch

Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Pyrit, Magnetit, Zinnstein, Wolframit

Abb. Seite 206

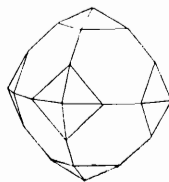
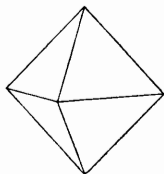
13 Skutterudit (Co, Ni, Fe)As₃ kubisch $H = 5\frac{1}{2} - 6$
(Speiskobalt, Smaltin) bis 28% Co $D = 6,4 - 6,8$

FARBE: zinnweiß, mitunter grau, schwarz oder regenbogenfarben angelaufen

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: Achthöckner; Flächen häufig gekrümmt



Aggregatform: grobkörnig, derb; nierig, gestrickt

Spaltbarkeit/Bruch: wechselnd; deutlich (Würfel)/muschelig, uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch

Erzgänge, Verdrängungen

Schneeberg, Johanngeorgenstadt, Annaberg, Jáchymov (Joachimsthal)
im Erzgebirge; Wittichen im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Safflorit, Rammelsbergit, Löllingit, Arsenkies, Gersdorffit,
Ullmannit, Maucherit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar, Arsengeruch; im
Kölbchen Arsenspiegel
Kobaltin, Speiskobalt, Chloanthit, Magnetkies, Hornblende, Granat,
Quarz

14 Sperrylith

PtAs_2

kubisch

H = 6 – 7

57% Pt

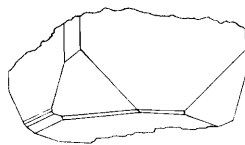
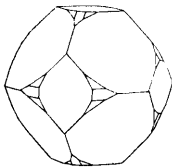
D = 10,5 – 10,6

FARBE: zinnweiß

STRICH: dunkelgrau

GLANZ: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen



Aggregatform: lose Körner, keine Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch
basische Erstarrungsgesteine, Pegmatite
Sudbury

Ähnliche Minerale: Platin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. etwas zerknisternd, leicht
schmelzbar; As-Rauch
Kupferkies, Pentlandit, Magnetkies, Gold, Platin

GRUPPE I · Metallglanz/Grau

15 Graphit

C

hexagonal H = 1

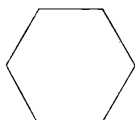
D = 2,1 – 2,3

FARBE: dunkel- bis lichtstahlgrau

STRICH: grau, schimmernd; nach Verreiben matt

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metall- oder Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: blätterig, dünn tafelig, schuppig; XX selten; XX eingesprengt



Aggregatform: schuppig, strahlig, dicht, stengelig, erdig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Schüppchen)/uneben, mild

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, pegmatitisch, magmatisch

Umwandlungsgesteine, Pegmatite, Erstarrungsgesteine

Steiermark; Pfaffenreuth; Elbingerode

Ähnliche Minerale: Molybdänglanz

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar, schwer verbrennbar; fettig anzufassen

Augit, Hornblende, Granat, Spinell, Wollastonit, Kalzit

Abb. Seiten 9, 206

16 Molybdänglanz

MoS₂

hexagonal H = 1 – 1½

(Molybdänit)

60% Mo

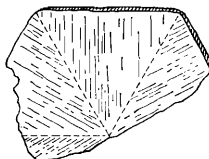
D = 4,7 – 5,0

FARBE: bleigrau schwacher Stich ins Violette

STRICH: bleigrau; nach Verreiben grünlich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: schuppig, blätterig, tafelig, tonnenförmig (sechseitig)



Aggregatform: derb, eingesprengt, schuppig, blätterig, dicht, glaskopffartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Schuppen)/mild

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch, kontaktmetasomatisch, hydrothermal

Pegmatite, Imprägnationen, Verdrängungen, Erzgänge

Erzgebirge; Auerbach an der Bergstraße; Mansfeld

Ähnliche Minerale: Graphit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; zeisiggrüne
Flammenfarbe; gepulvert auf Kohle weißer Beschlag; wäßrige Lösung
der Oxydationsschmelze (Salpeter) wird nach Zinnzugabe dunkelblau
Wolframit, Arsenkies, Zinnstein, ged. Wismut, Quarz, Magnetit, Zink-
blende, Pyrit, Kupferkies, Magnetkies, Hornblende, Augit, Pistazit,
Kalzit

Abb. Seite 10

17 Tetradymit

$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$

trigonal

H = $1\frac{1}{2} - 2$

(Tellurwismut)

D = $7,2 - 7,9$

FARBE: stahlgrau

STRICH: grau, glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: schuppig, tafelig; XX aufgewachsen

Aggregatform: blätterig, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Schuppen)/mild, biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch

Erzgänge, Verdrängungslagerstätten

Karpatenbogen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar, Bi- und Te-
Reaktion

ged. Gold, ged. Wismut, Kupferkies, Molybdänglanz, Magnetit, Quarz

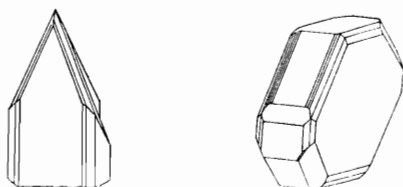
18 Sylvanit	AuAgTe_4	monoklin	$H = 1\frac{1}{2} - 2$
(Schrifterz)	25–27% Au		$D = 8,2$
	62,6% Te		

FARBE: stahlgrau-silberweiß, lichtgelb

STRICH: grau, glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: spießig, säulig, XX klein und oft längsgestreift



Aggregatform: fiederartig, schriftähnliche Gruppen, Dendriten, Anflüge

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge in Ergußgesteinen

Baia de Aries; Săcărâmb in Rumänien

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar, weißer Beschlag; in Salpetersäure unter Goldabscheidung löslich

ged. Gold, ged. Tellur, Tetraedrit, Zinkblende, Pyrit, Kalzit, Quarz, Chalzedon, Fluorit

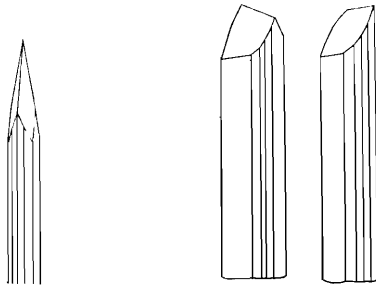
19 Antimonit	Sb_2S_3	rhombisch	$H = 2$
(Antimonglanz, Stibnit)	71% Sb		$D = 4,6 - 4,7$

FARBE: bleigrau, auf Kristallen häufig bunte oder dunkelblaue Anlauffarbe

STRICH: dunkelbleigrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz, besonders stark auf Spaltflächen/undurchsichtig

Kristallausbildung: spießig, nadelig, haarig, säulig, wellig-verbogen; oft längsgestreift; XX aufgewachsen



Aggregatform: radial- und verworren-strahlig; verfilzt, stengelig, spätig, körnig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen in Längsrichtung/mild, biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch

Erzgänge, Verdrängungen

Wolfsberg im Harz; Bräunsdorf im Erzgebirge; Goldkronach im Fichtelgebirge

Ähnliche Minerale: Wismutglanz, Pyrolusit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sehr leicht schmelzbar; im geschlossenen Röhrchen in der Hitze schwarz werdend, nach Erkalten kirschroter Beschlag

Bleiglanz, Wismutglanz, Zinnober, Pyrit, ged. Gold, Baryt, Siderit, Quarz

Abb. Seiten 9, 206

20 Argentit Ag_2S monoklin ($> 179^\circ\text{C}$ kubisch) $H = 2$

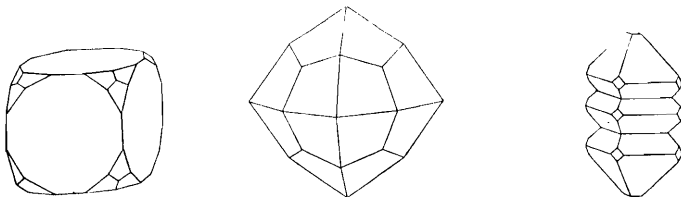
(Silberglanz) 87% Ag pseudorhombisch $D = 7,3$

FARBE: dunkelbleigrau, mattschwarz

STRICH: dunkelgrau, glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: im frischen Schnitt Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelig und andere isometrische Formen



Gruppe I • Metallglanz/Grau

Aggregatform: plattig, blechartig, zahnartig, dendritisch, reihenförmig gruppiert, gestrickt, derb, angeflogen, pulverig, rußartig

Spaltbarkeit/Bruch: kleinsmuschelig; geschmeidig, schneidbar

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge und deren Verwitterungszone

Schneeberg, Annaberg, Johanngeorgenstadt, Jáchymov-(Joachimsthal) im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Kupferglanz

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar, Silberkorn; in konz. Salpetersäure löslich, z.T. „Silberträger“ im Bleiglanz, Pyrargyrit, Proustite, ged. Silber, Stephanit, Pyrit, Markasit, Bleiglanz, Zinkblende, Nickelin, Chloanthit, Baryt, Fluorit, Kalzit, Siderit, Rhodochrosit

Abb. Seite 206

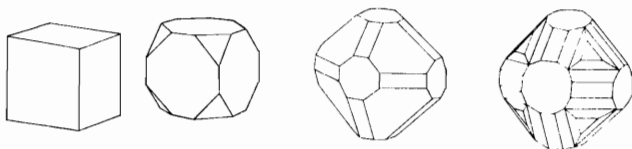
21 Bleiglanz	PbS	kubisch	H = 2½
(Galenit)	86% Pb, Silbergehalt!		D = 7,2 – 7,6

FARBE: bleigrau

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen, bes. Würfel



Aggregatform: derb, grob- bis feinkörnig, spätig, dicht, striemig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Würfel)/mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär, metasomatisch

Erzgänge, Absatzgesteine, Verdrängungen

Harz; Freiberg; Siegerland; Eifel; Pfibram

Ähnliche Minerale: Antimonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerknisternd; Bleikorn, grünger Beschlag auf Kohle

Zinkblende, Kupferkies, Bournonit, Fahlerz, Arsenkies, Pyrit, Fluorit, Pyrargit, Zinnober, Baryt, Fluorit, Siderit, Rhodochrosit, Dolomit, Ankerit, Zerussit, Pyromorphit, Anglesit, Kalzit, Quarz

Abb. Seiten 9, 206

22 Jamesonit $4 \text{ PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ monoklin $H = 2\frac{1}{2}$
 (Federerz) $29\% \text{ Sb}$ $D = 5,5 - 6,0$

FARBE: bleigrau, oft blau angelaufen

STRICH: grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: nadelig, haarig, spießig

Aggregatform: büschelig, verfilzt, federartig, meist locker, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Andreasberg, Waldsassen, Freiberg; Příbram

Ähnliche Minerale: Antimonit, Boulangerit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar, zerknisternd
 Bleiglanz, Zinkblende, Bournonit

Abb. Seite 206

23 Boulangerit $5 \text{ PbS} \cdot 2 \text{ Sb}_2\text{S}_3$ monoklin $H = 2\frac{1}{2} - 3$
 $55\% \text{ Pb}$ $D = 5,8 - 6,2$

FARBE: bleigrau bis eisenschwarz

STRICH: schwarz, braungrau bis braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, faserig; XX sehr selten

Aggregatform: dünnstengelig, faserig, körnig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Wolfsberg, Clausthal; Grube Silberwiese bei Oberlahr; Příbram

Ähnliche Minerale: Antimonit, Jamesonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; Antimonrauch
 Bleibeschlag und -kugel
 Bleiglanz, Antimonit, Zinkblende, Siderit, Kalzit, Quarz

Gruppe I · Metallglanz/Grau

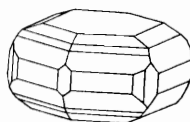
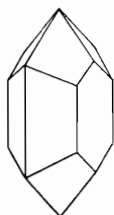
24 Chalkosin	Cu_2S	rhombisch	$H = 2\frac{1}{2} - 3$
(Kupferglanz)	ca. 80% Cu		$D = 5,5 - 5,8$

FARBE: dunkelbleigrau

STRICH: grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: kurzsäulig, tafelig, stumpf, pyramidenförmig (sechseckig);
XX aufgewachsen



Aggregatform: dicht, fein- bis grobkörnig, derb, eingesprengt, erdig, pulverig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich bis undeutlich/muschelig; mild

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, selten pegmatitisch-pneumato-
lytisch, sedimentär

Erzgänge und deren Verwitterungszone, Pegmatite

Rammelsberg (Harz)

Ähnliche Minerale: Kuprit, Bornit, Bournonit, Argentit, Hämatit, Magnetit,
Chromit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Zersprätzen zu spröder
Kugel schmelzend; mit Soda Cu-Korn; in Salpetersäure unter Schwefel-
abscheidung löslich

Kupferkies, Bornit, Fahlerz, Enargit, Kuprit, Hämatit, Covellin, Mala-
chit, Azurit, Chrysokoll, Pyrit, Baryt

Abb. Seite 207

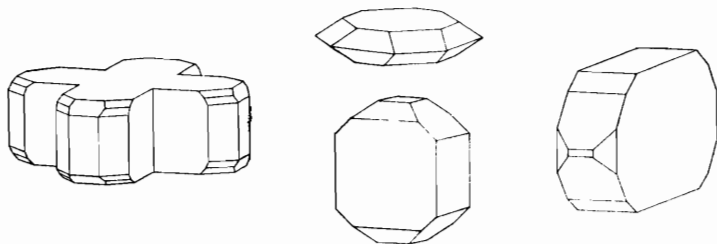
25 Bournonit	$2 \text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	rhombisch	$H = 3$
(Rädelerz)	42% Pb, 13% Cu		$D = 5,7 - 5,9$

FARBE: stahl- bis dunkelgrau, mitunter tombakbraun angelaufen

STRICH: grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: kurzsäulig, tafelig, würfelig, stumpfpyramidenförmig; oft
zahnradähnlich verzwilligt



Aggregatform: körnig, dicht, derb, eingesprengt, angeflogen

Spaltbarkeit/Bruch: selten deutlich (Blättchen)/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Neudorf, Clausthal; Bräunsdorf; Horhausen; Siegerland; Příbram

Ähnliche Minerale: Boulangerit, Fahlerz

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht zu schwarzer Kugel schmelzend; Bleibeschlag; mit Soda Kupferkorn

Tetraedrit, Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Arsenkies, Antimonit, Siderit, Baryt, Quarz

Abb. Seite 207

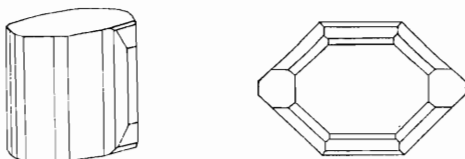
26 Enargit	Cu_3AsS_4	(pseudo-) hexagonal	$H = 3\frac{1}{2}$
	48% Cu		$D = 4.4 - 4.5$

FARBE: stahlgrau bis eisenschwarz mit violetterm Stich

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: kurzsäulig, nadelig, grobstengelig, tafelig; oft gestreifte XX



Aggregatform: spätig, körnig, strahlig, derb

Gruppe I · Metallglanz/Grau

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch
Erzgänge, Verdrängungen, Imprägnationen
große XX von Chile und Argentinien

Ähnliche Minerale: Zinkblende, Manganit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. Arsengeruch; mit Soda auf Kohle
Kupferperle; in Salpetersäure unter Schwefelabscheidung löslich
Tennantit, Kupferkies, Pyrit, Kupferglanz, Bornit

27 Tetraedrit	$\text{Cu}_3\text{SbS}_{3,25}$	kubisch	H = 3 — 4
	23–45% Cu, 24% Sb		D = 4,4 — 4,5

Hg-haltig = Schwazit	} <i>Fahlerzgruppe</i>
Bi-haltig = Annivit	
Ag-haltig = Freibergit	

Abb. Seite 11, 207

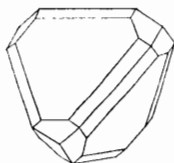
28 Tennantit	$\text{Cu}_3\text{AsS}_{3,25}$	kubisch	H = 3 — 4
			D = 4,6

FARBE: stahlgrau mit olivfarbenem bis bläulichem Stich („fahle“ Farbe)

STRICH: schwarz, Strich nach Verreiben rotbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz auf frischem Bruch/undurchsichtig

Kristallausbildung: Vierflächner; XX aufgewachsen



Aggregatform: derb, eingesprengt, körnig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: –/muscheliger; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, untergeordnet pegmatitisch-
pneumatolytisch

Erzgänge

Freiberg; Clausthal; Siegen; Dillenburg; Příbram

Ähnliche Minerale: Bournonit, Zinkblende

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; Antimonrauch; mit Soda Metallkorn
XX oft von Kupferkies umkrustet
Kupferkies, Bleiglanz, Bournonit, Zinkblende, Pyrit, Malachit, Azurit, Siderit, Baryt, Rhodochrosit, Dolomit, Kalzit, Quarz, Proustite; ged. Quecksilber, Baryt

29 Stannin $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ tetragonal $H = 3 - 4$
(Zinnkies) bis 27% Sn $D = 4,3 - 4,5$

FARBE: stahlgrau, frischer Bruch olivgrüne Tönung

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz, Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: Vierflächner;
XX sehr selten

Aggregatform: dicht, feinkörnig,
eingesprengt, derb



Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch, hoch-hydrothermal
Erzgänge
Zinnwald im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Arsenkies, Kupferkies, Fahlerz

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; Sn-Beschlag;
in Salpetersäure unter Abscheidung von Schwefel und Zinnoxid löslich
Zinnstein, Kupferkies, Arsenkies, Bleiglanz, Zinkblende, Tetraedrit, Wolframit, Quarz, Pyrit

30 Platin Pt kubisch $H = 4 - 4\frac{1}{2}$
stets 4-21% Eisen und $D = 14 - 19$
Platinmetalle enthaltend

FARBE: stahlgrau bis silberweiß

STRICH: stahlgrau ins Silberweiße

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Gruppe I · Metallglanz/Grau

Kristallausbildung: XX sehr selten; würfelig

Aggregatform: eckige Körner, Blättchen, Flitter, Klumpen, abgerollte Formen

Spaltbarkeit/Bruch: hakiger Bruch/geschmeidig

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch

basische Erstarrungsgesteine, Seifen

Ural

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; nur in heißem

Königswasser löslich

ged. Gold, Chromit, Magnetit, Ilmenit

31 Eisen

Fe

kubisch

H = 4 – 5

In Meteoriten Nickeleisen (Fe, Ni)

D = 7,3 – 7,6

FARBE: stahlgrau oder eisenschwarz

STRICH: grauglänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz auf frischen Bruchflächen/undurchsichtig

Kristallausbildung: keine XX

Aggregatform: derb, eingesprengt; Körner, Schüppchen, Tropfen, Klumpen

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/hakig; dehnbar

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch

basische Gesteine, Meteorite

Bühl bei Kassel

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, in Säuren löslich

Magnetkies, Olivin, Bronzit, Graphit



3 Wismut (S. 186)
4 Silber (S. 186)
10 Löllingit (S. 190)

3 Wismut (S. 186)
9 Gersdorffit (S. 189)
11 Kobaltglanz (S. 191)



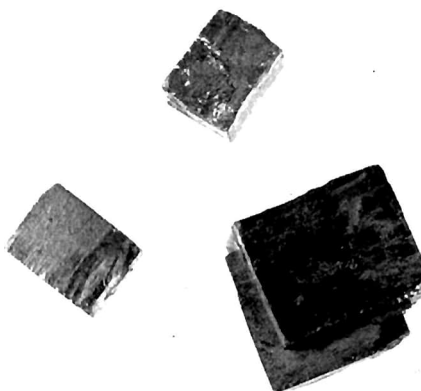
12 Arsenkies (S. 191)
19 Antimonit (S. 196)
21 Bleiglanz (S. 198)

15 Graphit (S. 194)
20 Argentit (S. 197)
22 Jamesonit (S. 199)



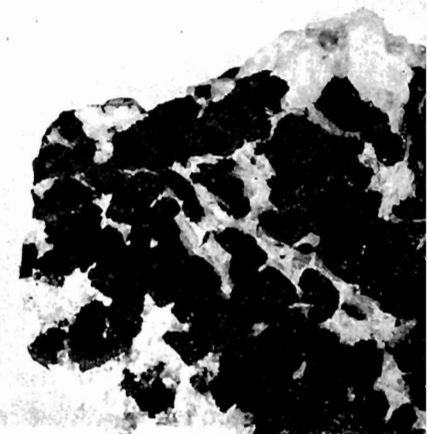
24 Chalkosin (S. 200)
27 Tetraedrit (S. 202)
27 Tetraedrit (S. 202)

25 Bournonit u. Siderit (S. 200)
27 Tetraedrit (S. 202)
33 Chloanthit (S. 210)



37 Arsen (S. 213)
44 Magnetkies (S. 217)
45 Pyrit (S. 218)

38 Franklinit (S. 213)
44 Magnetkies (S. 217)
45 Pyrit (S. 218)



45 Markasit (S. 219)
47 Trousttit (S. 220)
48 Kupfer in Kalzit (S. 220)

46 Markasit (S. 219)
48 Kupfer (S. 220)
50 Bornit (S. 222)

32 Maucherit $\text{Ni}_{<3}\text{As}_2$ tetragonal $H = 5$
 $D = 8$

FARBE: silbergrau mit rötlichem Stich

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: quadratische Tafeln, Pyramiden; XX selten

Aggregatform: zellig, feinkörnig, stengelig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: unebener Bruch; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Mansfeld

Ähnliche Minerale: Nickelin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; im geschlossenen Rohr wenig As_2O_3 -Sublimat
Nickelin, Chloanthit, Kobaltin, Baryt

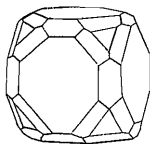
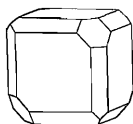
33 Chloanthit NiAs_3 kubisch $H = 5\frac{1}{2}$
(Weißnickelkies) $28\% \text{ Ni}$ $D = 6,4-6,6$

FARBE: XX lichtgrau bis -weiß, dunkel anlaufend, verschiedenfarbige Beschläge

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: Würfel; Flächen meist gekrümmt und rissig



Aggregatform: dicht, feinkörnig, derb, nierig, gestrickt

Spaltbarkeit/Bruch: wechselnd deutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Schneeberg, Johanngeorgenstadt, Annaberg, Jáchymov (Joachimsthal)
im Erzgebirge; Wittichen im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Safflorit, Arsenkies, Kobaltin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. grauschwarze Kugel, Arsen-
geruch; im offenen Röhrchen As_2O_3 -Sublimat; in Salpetersäure löslich
ged. Wismut, ged. Arsen, Proustit, Baryt, Fluorit, Siderit, Quarz, Blei-
glanz, Safflorit

Abb. Seiten 11, 207

34 Polianit

MnO_2

tetragonal

H = > 7,
gewöhnlich
viel kleiner

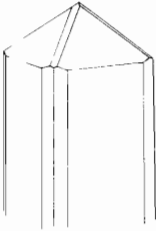
D = 5,0

FARBE: stahlgrau

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig; XX klein und selten



Aggregatform: derb, körnig, stengelig, faserig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Blatná (Platten) in Böhmen

Ähnliche Minerale: Pyrolusit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Salzsäure
heftige Chlorentwicklung; Mn-Perle
Psilomelan, Pyrolusit, Limonit, Baryt, Manganit, Hämatit

GRUPPE I · Metallglanz/Schwarz

35 Polybasit $8(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ monoklin $H = 1\frac{1}{2} - 2$
64–72% Ag D = 6,3

FARBE: grauschwarz, dünne Splitter tiefrot

STRICH: kupferrot, glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/nur in dünnen Schichten rot durchscheinend

Kristallausbildung: blätterig, schuppig, dünntafelig; XX in Drusen aufgewachsen

Aggregatform: derb, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: gut/uneben; mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Freiberg; St. Andreasberg

Ähnliche Minerale: Argentit, Pyrargyrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerspritzend und sehr leicht schmelzend; mit Soda metallisches Korn

Stephanit, Argentit, Siderit, Kalzit, Baryt, Fluorit, Tennantit, Proustit

36 Stephanit $5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ rhombisch $H = 2\frac{1}{2} - 2$
ca. 68% Ag D = 6,2 – 6,4

FARBE: schwarz bis bleigrau

STRICH: glänzenschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig, rosettenartige Gruppen

Aggregatform: eingesprengt, derb; Anflug

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Freiberg, Jáchymov (Joachimsthal); St. Andreasberg; Příbram

Ähnliche Minerale: Kupferglanz, Pyrargyrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerspritzend; Sb-Beschlag; mit Soda Silberkorn; in heißer Salpetersäure unter Schwefelabscheidung löslich

Argentit, Pyrargyrit, ged. Silber, Bleiglanz, Baryt, Fluorit, Siderit, Kalzit

37 Arsen	As	trigonal	H = 3 – 4 D = 5,4 – 5,9
-----------------	-----------	-----------------	--

FARBE: schwarz – matt, frische Bruchflächen sind zinnweiß

STRICH: schwarzbleigrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz auf frischen Bruchflächen, wird schnell trüb und matt/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX sehr klein und sehr selten

Aggregatform: schalig, feinkörnig, feinschuppig, feinfaserig, dicht, nierig, plattig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Erzgänge
Erzgebirge; Harz

Ähnliche Minerale: Antimon, Silber

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. flüchtig ohne zu schmelzen, Arsengeruch
Proust, Dyskrasit, Bleiglanz, Smaltin, Chloanthit, Nickelin, Antimon, Baryt, Fluorit, Siderit, Ankerit, Dolomit, Kalzit

Abb. Seite 208

38 Franklinit	ZnFe₂O₄	kubisch	H = 6 – 6½ D = 5,0 – 5,2
----------------------	--------------------------------------	----------------	---

7–20% Zn

FARBE: eisenschwarz, dünne Splitter tiefrot

STRICH: dunkel- bis rotbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: achtfächig

Aggregatform: körnig, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktpneumatolytisch, regionalmetamorph in metamorphen Kalken (spezieller Fall)
Franklin in New Jersey

Ähnliche Minerale: Chromit, Magnetit, Gahnit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; nach dem Glühen magnetisch; in Salzsäure unter Chlorentwicklung löslich
Zinkit, Willemit, Kalzit, Rhodonit, Granat

Abb. Seite 208

GRUPPE I · Metallglanz/Gelb

39 Calaverit $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$ monoklin $H = 2\frac{1}{2}$
D = 9,2 – 9,3

FARBE: silberweiß nach gelb

STRICH: gelblichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, lattenförmig, längsgestreift

Aggregatform: dicht, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger Bruch; sehr spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Colorado

Ähnliche Minerale: Pyrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; Goldkorn; blaugüne Flammenfarbe, weißer Rauch; im Kölbchen schwarzes Tellursublimat, im offenen Rohr gelbweißes Sublimat
ged. Gold, Sylvanit, Pyrit, Quarz, Fluorit

40 Gold Au kubisch $H = 2\frac{1}{2} - 3$
enthält meist 2–20% Ag D = 15,5 – 18,3
Elektrum hat ca. 28% Ag (rein 19,3)

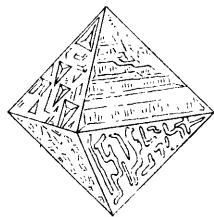
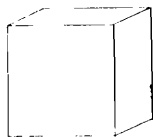
FARBE: goldgelb, silberreich = lichtgelb, pulverförmig auch dunkelbraun

STRICH: metallisch gelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelig, acht- und mehrflächig; meist stark verzerrte XX, verzerrte Zwillinge

Aggregatform: dendritisch, blech-, drahtförmig; Körner, Klumpen, Schüppchen



Spaltbarkeit/Bruch: hakiger Bruch; geschmeidig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Erzgänge, Seifen

Brandholz im Fichtelgebirge; Sonnenblickgebiet in Salzburg; Sowjetunion; USA; Afrika

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; in Königswasser löslich

Silbererze Fahlerze, Kiese; Bleiglanz, Quarz, Pyrit, Zinkblende, Arsenkies, Antimonit; ged. Wismut, Sylvanit, Kalzit, Limonit, Rhodochrosit

Abb. Seite 10

41 Millerit

NiS

trigonal

H = $3\frac{1}{2}$

(Haarkies oder

D = 5,2 – 5,6

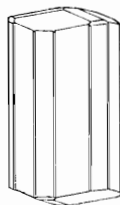
Gelbnickelkies)

FARBE: messinggelb, feine Härchen auch matt grünlich, grau, bräunlich bis schwärzlich, seidenartig

STRICH: grünlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: stark metallisch/undurchsichtig

Kristallausbildung: haarförmig, nadelförmig



Aggregatform: büschelig, radialstrahlig, selten derb, faserig, wirrstrahlig, filzig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen

Johanngeorgenstadt, Jáchymov (Joachimsthal); Riechelsdorf, Bieber, Kamsdorf; Wissen, Nanzenbach, Dillenburg

Ähnliche Minerale: Markasit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar (schwarze magnetische Kugel); in Salpetersäure löslich

Chloanthit, Gersdorffit, Siderit, Limonit, Baryt, Fluorit, Kalzit

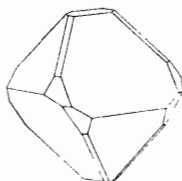
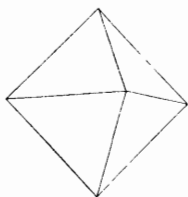
42 Kupferkies	CuFeS_2	tetragonal	$H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Chalkopyrit)	34% Cu		$D = 4,1 - 4,3$

FARBE: messinggelb mit Stich ins Grünliche, häufig dunkelgelb, bräunlich oder bunt angelaufen

STRICH: grünlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: Achtfächner, Vierflächner (pseudokubisch)



Aggregatform: dicht, feinkörnig, eingesprengt, angefliegen, traubig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig, uneben; mäßig spröde

Bildungsweise und Vorkommen: „Durchläufermineral“ der Erzlagerstätten: liquid-magmatisch bis hydrothermal, sedimentär, metamorph
Erzgänge, Erstarrungsgesteine, Pegmatite, Absatzgesteine, Umwandlungsgesteine
Erzgebirge; Harz; Mansfeld

Ähnliche Minerale: Pyrit, Markasit, Magnetkies

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerspritzend, schmelzbar; schwarzes, magnetisches Korn; in Salpetersäure löslich
Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Fahlerz, Markasit, Zinnstein, Siderit, Fluorit, Baryt, Ankerit, ged. Wismut, Limonit

Abb. Seiten 9, 10

43 Pentlandit	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	kubisch	$H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Eisennickelkies)	10–40% Ni		$D = 4,5 - 5$

FARBE: bronzegelb

STRICH: grünlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX sehr selten

Aggregatform: Körner

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Achtflächner)/muscheliger; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch
basische Erstarrungsgesteine
Sohland an der Spree; Horbach im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Magnetkies, Bornit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: in Salzsäure löslich; unmagnetisch
Magnetkies

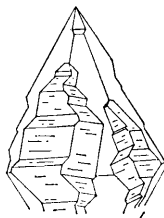
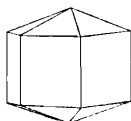
44 Magnetkies	FeS	hexagonal	H = 4
(Pyrrhotin)	61 % Fe		D = 4,6 – 4,7

FARBE: bronzefarben mit Stich ins Braune, angewittert = dunkler braun

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz auf frischen Bruchflächen/un-durchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig (sechseckig); XX selten



Aggregatform: feinkörnig, dicht, derb, blätterig, eingesprengt, massig

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch, pegmatitisch-pneumato-lytisch, hydrothermal, metamorph
basische Erstarrungsgesteine, Erzgänge, Umwandlungsgesteine
Freiberg; St. Andreasberg

Ähnliche Minerale: Pentlandit, Bornit, Argentit, Nickelin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schmelzbar; magnetisches Korn
SO₂-Geruch; in Salzsäure unter H₂S-Entwicklung löslich
Pyrit, Pentlandit, Kupferkies, Arsenkies, Bleiglanz, Zinkblende, Zinn-stein, Magnetit, Ilmenit, Siderit

Abb. Seiten 9, 208

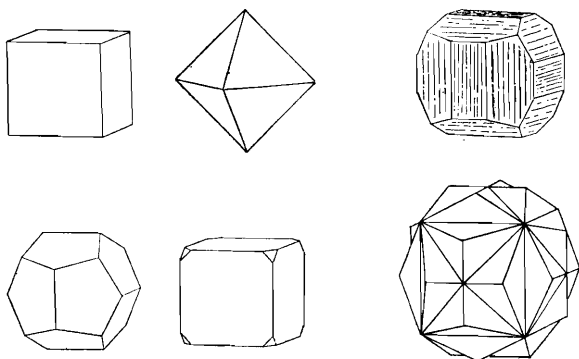
45 Pyrit	FeS_2	kubisch	$H = 6 - 6\frac{1}{2}$
(Schwefelkies)	46% Fe, 54% S		$D = 4,9 - 5,2$
Bravoit = Nickelpyrit $(\text{Ni,Fe,Co})\text{S}_2$			

FARBE: messinggelb, gelblichbraun oder bunt angelaufen, dichte Abarten schwarz

STRICH: grünlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelig und andere isometrische Formen; gestreifte Flächen;
XX auf- und eingewachsen



Aggregatform: feinkörnig, dicht, faserig, dünnstengelig, radialstrahlig, nierenförmig, knollig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sog. „Durchläufermineral“
auf fast jedem Erzgang, in fast jedem Gestein
Elbingerode und viele andere Orte

Ähnliche Minerale: Markasit, Kupferkies, Arsenkies, Magnetkies

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu schwarzer, magnetischer
Kugel schmelzend; SO_2 -Geruch; Schwefelsublimat im Kölbchen
Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz, Arsenkies, Magnetkies

Abb. Seiten 10, 208

46 Markasit

FeS_2

rhombisch $H = 6 - 6\frac{1}{2}$

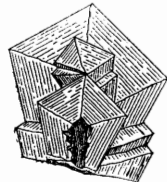
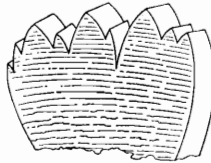
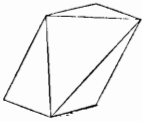
$D = 4,8 - 4,9$

FARBE: messinggelb mit Stich ins Grünliche, bunt angelaufen, rostfarbene Rinde

STRICH: grünlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig, nadelig, pyramidenartig



Aggregatform: faserig, stengelig, dicht, radialstrahlig, zellig, hahnenkammartig, knollig, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr undeutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch, sedimentär
Verdrängungen, Konkretionen, Erzgänge
Aachen; Wiesloch; Clausthal; Freiberg

Ähnliche Minerale: Pyrit, Kupferkies

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zu schwarzer, magnetischer Kugel schmelzend; SO_2 -Geruch; im Kölbchen Schwefelsublimat
Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Arsenkies

Abb. Seite 209

GRUPPE I · Metallglanz/Rot

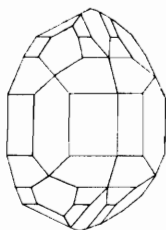
47 Proustit	Ag_3AsS_3	trigonal	$H = 2\frac{1}{2}$
(Lichtes Rotgültigerz)	65% Ag		$D = 5,6$

FARBE: scharlachrot, am Licht oberflächlich dunkler werdend

STRICH: gelblichrot, zinnoberrot

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/in Splittern halbdurchsichtig

Kristallausbildung: spießig, säulig (sechseckig) mit aufgesetzter Pyramide;
XX aufgewachsen, eingesprengt, in Gruppen



Aggregatform: selten massig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (verzernte Würfel)/muscheliger bis splitterig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

St. Andreasberg; Freiberg; Příbram

Ähnliche Minerale: Pyrargyrit, Kuprit, Zinnober

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; Arsengeruch;
mit Soda Silberkorn

Argentit, ged. Silber, Pyrargyrit, ged. Arsen, Smaltin, Chloanthit,
Nickelin, Markasit, Baryt, Fluorit, Siderit, Rhodochrosit, Quarz, Pyrit

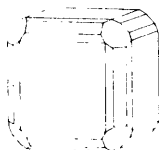
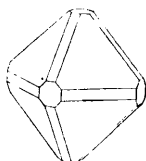
Abb. Seiten 17, 209

48 Kupfer	Cu	kubisch	$H = 2\frac{1}{2} - 3$
			$D = 8,5 - 8,9$

FARBE: kupferrot, oft dunkel angelaufen bzw. mit brauner, schwarzer, grüner
oder blauer Verwitterungsrinde überzogen

STRICH: kupferrot, metallglänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig



Kristallausbildung: würfelig, Achtfächner, meist stark verzerrte XX; Zwillinge

Aggregatform: dendritisch, blech-, draht-, zahn-, moosförmig, derb, plattig; Klumpen

Spaltbarkeit/Bruch: -/hakig; geschmeidig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Erzgänge und deren Verwitterungszone, basische Erstarrungsgesteine
Siegerland, Rheinbreitbach

Ähnliche Minerale: -

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; in Säuren leicht löslich, bei Ammoniakzusatz tiefblau

Kuprit, Silber, Kalzit, Quarz, Malachit, Azurit

Abb. Seiten 10, 209

49 Pyrargyrit



trigonal

$H = 2\frac{1}{2} - 3$

(Dunkles Rotgültigerz) 60% Ag, 22% Sb

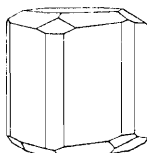
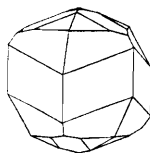
$D = 5,8$

FARBE: dunkelrot bis eisenschwarz

STRICH: kirschrot

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: stark metallischer Glanz, auch Mattglanz/an den Ecken der XX und in Splittern durchscheinend

Kristallausbildung: spießig, säulig (sechseitig) mit flachen oder spitzen Pyramidenenden; XX in Gruppen



Aggregatform: selten massig; Überzüge, Anflüge, Dendriten; eingesprengt; derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (verzerrte Würfel)/muschelig bis splitterig; etwas spröde

Gruppe I · Metallglanz/Rot

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

St. Andreasberg; Freiberg; Pibram

Ähnliche Minerale: Proustite, Kuprit, Zinnober, Roteisen

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; Antimonrauch; mit Soda Silberkorn

Argentit, ged. Silber, Proustite, Chloanthit, Bleiglanz, Smaltin, Stephanit, Nickelin, Markasit, Baryt, Fluorit, Siderit, Rhodochrosit, Quarz, Pyrit

50 Bornit

Cu_5FeS_4 kubisch $H = 3$

(Buntkupferkies)

55–63% Cu ($> 200^\circ\text{C}$ rhombisch)

$D = 4,9 - 5,3$

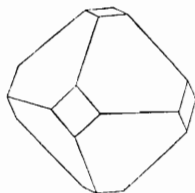
FARBE: frischer Bruch = tombakfarben, bekommt schnell eine bunte Anlauf-farbe (blau/violett)

STRICH: grauschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen;

XX sehr selten



Aggregatform: körnig, dicht, derb, knollig,
plattig, ästig; Überzüge, Anflüge;
eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich (Würfel)/muscheliger; spröde bis mild

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch, hydrothermal,
sedimentär

Erzgänge, Absatzgesteine

Siegerland; Berggießhübel; Mansfeld

Ähnliche Minerale: Magnetkies, Nickelin, Covellin, Kupferkies, Chalkosin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; graue magnetische
Kugel; in Salpetersäure und Schwefelsäure unter Schwefelabscheidung
löslich

Kupferkies, Kupferglanz, Bleiglanz, Zinkblende, Magnetit, Enargit,
Malachit, Chrysokoll, Kalzit

Abb. Seiten 9, 209

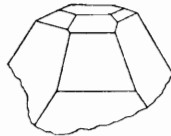
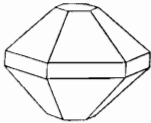
51 Nickelin	NiAs	hexagonal	H = 5 – 5½
(Rotnickelkies)	44% Ni		D = 7,6 – 7,8

FARBE: licht kupferrot, Anlauffarbe dunkler bräunlich oder grau

STRICH: bräunlichschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: pyramidenartig; XX klein und selten



Aggregatform: dicht, feinkörnig, kurzstrahlig, derb, nierig, gestrickt; eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig, uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, liquid-magmatisch

Erzgänge; basische Erstarrungsgesteine

Schneeberg, Annaberg, Johanngeorgenstadt, Jáchymov (Joachimsthal), Marienberg; Wolfach, Wittichen; Mansfeld; Bieber; Riechelsdorf

Ähnliche Minerale: ged. Wismut, Magnetkies, Linneit, Maucherit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; Arsengeruch; in konzentrierten Säuren löslich

Chloanthit, Smaltin, ged. Wismut, ged. Silber, ged. Arsen, Proustit, Bleiglanz, Baryt, Fluorit, Siderit, Kalzit

Abb. Seite 9

GRUPPE II · Halbmetallische Minerale und nichtmetallische Minerale, die einen farbigen Strich geben

Halb- bzw. nichtmetallisch/Strichfarbe schwarz oder grau

52 Covellin	CuS	hexagonal	H = 1½ – 2
(Kupferindig)	66% Cu		D = 4,7

FARBE: dunkelblauschwarz, indigoblau

STRICH: schwarz schimmernd

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: frisch Metallglanz, sonst Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: schuppig, dünntafelig; XX klein und selten

Aggregatform: derb, feinblättrig, feinkörnig, dicht, pulverig, plattig, angeflogen

Spaltbarkeit/Bruch: gut/muschelig; mild, biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Erzgänge und deren Verwitterungszonen

Sangerhausen

Ähnliche Minerale: Bornit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzend, mit blauer

Farbe brennend, in Salpetersäure unter Schwefelabscheidung löslich

Kupfersulfide

Abb. Seite 11

53 Pyrolusit	MnO ₂	rhombisch	H = 2 – 6
(Weichmanganerz)			D = 4,7 – 5

FARBE: schwarz, dunkelgrau, bläulich angelaufen

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmetallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, würfelig, haarförmig

Aggregatform: strahlig, faserig, locker, erdig, oolithisch, derb, nierig, zapfenförmig

Spaltbarkeit/Bruch: unebener Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen, oolithische Erze

Ilmenau, Elgersburg, Öhrenstock in Thüringen, Siegerland

Ähnliche Minerale: Manganit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, mit Salzsäure heftige Chlorentwicklung
Hämatit, Siderit, Psilomelan, Manganit, Baryt, Kalzit

Abb. Seiten 11, 257

54 Tenorit	CuO	monoklin	H = 3 – 4
(Melakonit)	79% Cu		D = 5,8 – 6,4

FARBE: schwarz oder grauschwarz

STRICH: schwarz, nach Verreiben grün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmetalglanz/nur in dünnsten Blättchen braun durchscheinend

Kristallausbildung: sechseckige dünne Täfelchen

Aggregatform: erdig, rußartig, krustig, schuppig

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: vulkanisch exhalativ, sedimentär an Vulkanen; Verwitterungszone von Erzgängen
Vesuv; Waldsassen in Bayern

Ähnliche Minerale: Pyrolusit u. U.

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. mit Soda Kupferkorn; in Salzsäure löslich
Kupferglanz, Kuprit, Limonit

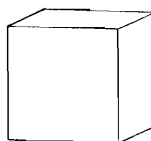
55 Uraninit	UO₂	kubisch	H = 4 – 6
(Pechblende, Uranpecherz) bis 76% U			D = 9 – 10,6 (auch geringer)

FARBE: schwarz, pechschwarz mit grünlichem, bräunlichem oder grauem Ton

STRICH: dunkelgrün bis grauschwarz oder bräunlich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmetalglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX sehr selten; isometrische Formen



Gruppe II · Halb- bzw. nichtmetallisch/Strichfarbe schwarz oder grau

Aggregatform: derb, dicht, krummschalig, traubig, nierig, gebändert; eingesprengt in Lagern und Adern

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis unebener Bruch, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, hydrothermal

Granitpegmatite; vor allem aber Erzgänge

Jáchymov (Joachimsthal), Johanngeorgenstadt, Schneeberg, Marienberg, Annaberg u. a. O. im Erzgebirge; Wittichen in Baden; Wölsendorf in Bayern

Ähnliche Minerale: Psilomelan

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. sehr schwer schmelzbar; in Salpetersäure und Schwefelsäure löslich, mit Ammoniak gelber Niederschlag

Uranocker, Uranglimmer, Bleiglanz, Kupferkies, Molybdänglanz, Chloanthit, ged. Wismut, Pyrargyrit, Proustite, Baryt, Dolomit, Fluorit, Siderit, Quarz

Abb. Seite 257

56 Psilomelan $(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})_2 \text{Mn}_5\text{O}_{10}$ monoklin/ H = 4 – 6
tetragonal

im allgemeinen

D = 4,4 – 4,7

Feldbezeichnung für Hartmanganerze

FARBE: schwarz, mitunter bräunlichschwarz

STRICH: braunschwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmattglanz, lockere Abarten erscheinen matt/undurchsichtig

Kristallausbildung: feinkristallin, Gelbbildung

Aggregatform: derb, dicht, traubig, zapfig, glaskopfförmig, nierig, stalaktitisch, oolithisch, hart, aber auch locker und weich

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis uneben brechend, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen, Absatzgesteine, Konkretionen
Ilfeld im Harz

Ähnliche Minerale: Pyrolusit, Hausmannit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; beim Glühen im Kölbchen Sauerstoffabgabe, etwas Wasser; mit Salzsäure lebhaftes Chlorentwicklung

Pyrolusit, Polianit, Limonit, Baryt, Kalzit, Siderit

Abb. Seite 257

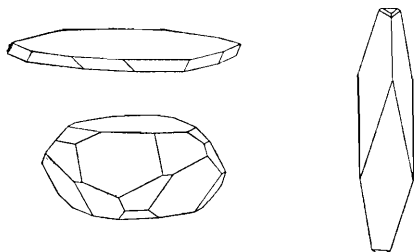
57 Ilmenit	FeTiO_3	trigonal	H = 5 – 6
(Titaneisen)	36% Fe, 31% Ti		D = 4,5 – 5,0

FARBE: eisenschwarz, stahlgrau, schwärzlichbraun

STRICH: schwarz, verrieben dunkelbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, linsenförmig, stark deformierte Würfel, sechseckig bzw. dreieckig



Aggregatform: dicht, körnig, rosettenartig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, seltener hydrothermal in basischen Erstarrungsgesteinen, auf alpinen Klüften, in Seifen St. Gotthard; Aschaffenburg

Ähnliche Minerale: Magnetit, Hämatit

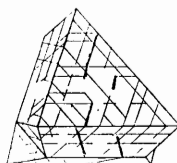
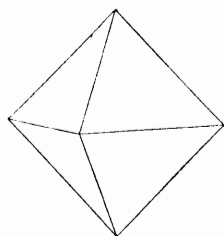
Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar, geglüht magnetisch; in Säuren schwer löslich; von Kaliumhydrogensulfat angreifbar
Rutil, Titanit, Apatit, Feldspat, Quarz

58 Magnetit	Fe_3O_4	kubisch	H = 5½ – 6
(Magneteseisenerz)	72% Fe		D = 4,9 – 5,2

FARBE: eisenschwarz, mitunter auf Kristallflächen bläulich angelaufen

STRICH: grauschwarz, bräunlich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmattglanz/undurchsichtig



Kristallausbildung: Achteflächner und andere isometrische Formen; Zwillinge; XX eingewachsen

Aggregatform: dicht, derb, körnig, massig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, kontaktpneumatolytisch, metamorph; untergeordnet hochhydrothermal und sedimentär
basische Tiefen-(Erstarrungs-)Gesteine; Verdrängungen in Karbonatgesteinen; metamorphe eisenreiche Absatzgesteine; alpine Klüfte; selten in Absatzgesteinen; Seifen
Berggießhübel in Sachsen; Schwarze Crux bei Schmiedeberg in Thüringen; Siegerland; Lothringen

Ähnliche Minerale: Chromit, Ilmenit, Hausmannit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sehr schwer schmelzbar; natürlicher Magnetismus; in Salzsäure löslich
Zinkblende, Arsenkies, Löllingit, Pyrit, Kupferkies, Ilmenit, Spinell, Hornblende, Augit, Olivin, Granat, Apatit, Kalzit

Abb. Seite 257

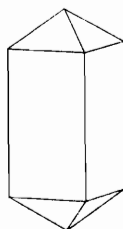
59 Ilvait	$\text{CaFe}_3[\text{OH/O/Si}_2\text{O}_7]$	rhombisch	H = $5\frac{1}{2}$ – 6
(Lievrit)			D = 3,8 – 4,1

FARBE: schwarz mit bräunlicher oder grüner Tönung

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmattglanz,
Fettglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, langgestreckt



Aggregatform: stengelig, strahlig, faserig, büschelig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktpneumatolytisch, selten magmatisch
Verdrängungen in Kalken
Herbornseelbach in Nassau

Ähnliche Minerale: Turmalin, Grammatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar, nach dem
Schmelzen magnetisch, durch Salzsäure zersetzbar
Augit, Hornblende, Epidot, Quarz, Kalzit, Magnetit

Abb. Seite 257

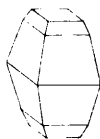
60 Braunit	$\text{Mn}_7[\text{O}_8/\text{SiO}_4]$	tetragonal	$H = 6 - 6\frac{1}{2}$
(Hartmanganerz)	ca. 64% Mn		$D = 4,7 - 5,0$

FARBE: eisen- bis bräunlichschwarz

STRICH: schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmetalglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: verzerrte Achtflächner, Pyramiden; XX klein



Aggregatform: körnig, derb, dicht, krustenartig

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph-metasomatisch
metamorphe, karbonatische Absatzgesteine, Erzgänge
Elgersburg und Öhrenstock im Thüringer Wald; Ilfeld im Harz

Ähnliche Minerale: Hausmannit, Magnetit, Chromit, Franklinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; entwickelt mit
Salzsäure Chlor
Pyrolusit, Psilomelan, Hausmannit, Baryt, Kalzit

61 **Zinnstein**

SnO_2

tetragonal $H = 6 - 7$

(Kassiterit)

78% Sn

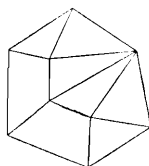
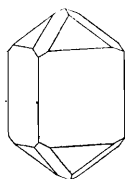
$D = 6,8 - 7,1$

FARBE: braun und braunschwarz, selten in unreinen gelben, grauen und rötlichen Farbtönen, farblos

STRICH: bräunlichgrau, weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz, im Bruch Pechglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: kurz- bis langsäulig, quadratischer Querschnitt, aufgesetzte Pyramiden, verzwilligt; Visierzwillinge, XX auf- und eingewachsen



Aggregatform: dicht, körnig, feinfaserig, schalig, derb, glaskopffartig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig brechend; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch, kontaktpneumatolytisch, hydrothermal

Erzgänge, Pegmatite, Pneumatolyte, Verdrängungen, Imprägnationen in manchen Graniten, Seifen

Altenberg, Geyer, Zinnwald, Horní Slavkov (Schlaggenwald), Krupka (Graupen), Ehrenfriedersdorf im Erzgebirge; Fichtelgebirge

Ähnliche Minerale: Vesuvian, Zirkon, Turmalin, Granat, Zinkblende, Rutil

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Soda metallische Flitter

Arsenkies, Wolframit, Scheelit, Molybdänglanz, ged. Wismut, Fluorit, Apatit, Lithionglimmer, Topas, Quarz

Abb. Seite 257

GRUPPE II · Halb- bzw. nichtmetallisch Strichfarbe braun

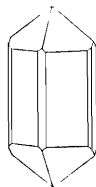
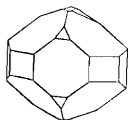
62 Descloizit $\text{Pb}(\text{Zn}, \text{Cu}) [\text{OH}/\text{VO}_4]$ rhombisch $H = 3 - 3\frac{1}{2}$
Mottramit = Zn-arm 13% V $D = 5,5 - 6,2$

FARBE: braun, braunrot bis schwarzbraun

STRICH: hellbraun, hellgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz/durchsichtig bis fast undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, pyramidenartig, tafelig



Aggregatform: radialstrahlig, traubig, warzig, krustig

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig brechend; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen

Dahn in der Pfalz; Hofgrund im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu schwarzer Schlacke schmelzbar, Zn-Beschlag und Pb-Korn; zerspritzt im Röhrchen, geringe Wasserabgabe

Quarz, Limonit, Pyromorphit, Vanadinit

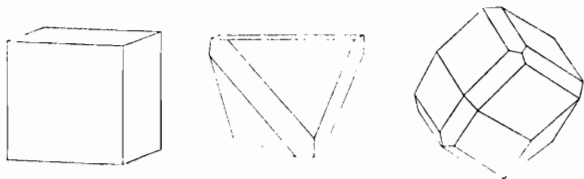
63 Zinkblende ZnS kubisch $H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Sphalerit) bis 67% Zn; Cd-Gehalt! $D = 3,9 - 4,2$

Christophit = eisenreich, metallisch glänzend

FARBE: graubraun bis zimtfarben, oft schwarz, auch gelb, rot, grünlich; sehr selten farblos

STRICH: gelblich-weißbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/durchscheinend bis undurchsichtig



Kristallausbildung: isometrische Formen

Aggregatform: körnig, spätig, dicht, derb, eingesprengt, nierig, stalaktitisch, schalig, gebändert-lagenförmig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Zwölfflächner)/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, pneumatolytisch, hydrothermal; in Spuren auch magmatisch; sedimentär

Erzgänge, Absatzgesteine

Erzgebirge; Harz; Meggen an der Lenne; Stolberg bei Aachen; Wiesloch in Baden; Schauinsland im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Fahlerz, Bleiglanz, Zinnstein, Vesuvian

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zerknisternd, an den Kanten abrundbar; mit Soda Zn-Beschlag; in Salzsäure unter H_2S -Entwicklung löslich

Bleiglanz, Quarz, Siderit, Kupferkies, Fluorit, Markasit, Wurtzit, Zinnstein, Magnetkies, Magnetit

Abb. Seiten 10, 258

64 Wurtzit

ZnS

hexagonal

H = $3\frac{1}{2}$ – 4

(Schalenblende) bis 67% Zn und 3% Cd

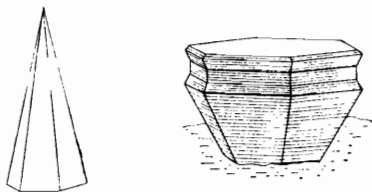
D = 4,0 – 4,3

FARBE: gelb, licht- bis dunkelbraun

STRICH: hellbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Diamantglanz/rot durchscheinend

Kristallausbildung: XX klein und selten; sechsseitig



Aggregatform: strahlig, stengelig, feinfaserig, krustig, schalig, gebändert, glaskopfförmig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Stolberg bei Aachen; Pfibram

Ähnliche Minerale: Zinkblende

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. an den Kanten abrundbar; mit Soda auf Kohle Zn-Beschlag, in Salzsäure unter Schwefelwasserstoffentwicklung löslich

Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Markasit, Siderit, Greenockit, Quarz

Abb. Seite 11

65 Limonit $\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ rhombisch $H = 4 - 1$

(Brauneisenerz, Brauner Glaskopf) $D = 3,3 - 4,0$

FARBE: gelbbraun, dunkelbraun, fast schwarz

STRICH: rostbraun oder gelblichbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz bis Halbmattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: feinstkristallin

Aggregatform: glaskopfartig, nierenförmig, stalaktitisch, traubig, oolithisch, derb, erdig zellig, krustig, gelartig

Spaltbarkeit/Bruch: unebener bis muscheliger Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen (sog. eiserner Hut), Absatzgesteine

Ähnliche Minerale: Hämatit, Goethit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; nach Glühen magnetisch; in Salzsäure löslich

Pyrolusit, Psilomelan, Hämatit, Baryt, Kalzit, Chalzedon, Quarz

Abb. Seite 258

66 Manganit MnOOH rhombisch $H = 4$

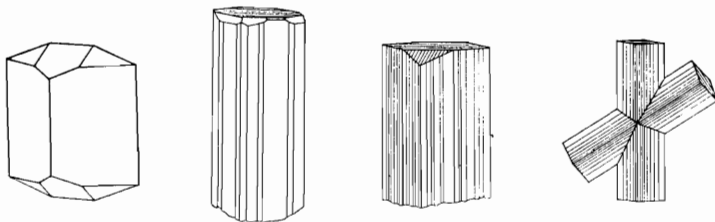
36% Mn $D = 4,3 - 4,4$

FARBE: braunschwarz, angewittert stahlgrau (Pyrolusit!)

STRICH: dunkelbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmattglanz/undurchsichtig, in dünnsten Splittern rot durchscheinend

Kristallausbildung: prismenförmig, vertikal gestreift; XX in Gruppen



Aggregatform: dünnstengelig, radial- und wirrstrahlig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
selbständige Erzgänge in Ergußgesteinen
Ilfeld im Harz; Elgersburg und Öhrenstock im Thüringer Wald

Ähnliche Minerale: Antimonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; Wasserabgabe im Kölbchen; in Salzsäure unter Chlorentwicklung löslich
Pyrolusit, Baryt, Kalzit, Hämatit mit Pyrit

Abb. Seiten 11, 258

67 Wolframit (Mn, Fe) $[\text{WO}_4]$ monoklin $H = 5 - 5\frac{1}{2}$

Ferberit = $\text{Fe}[\text{WO}_4]$ 76% WO_3 $D = 7,1 - 7,5$

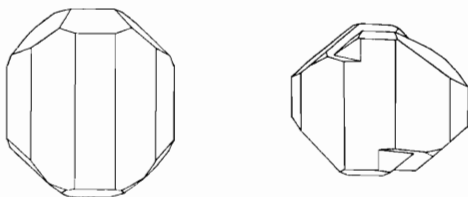
Hübnerit = $\text{Mn}[\text{WO}_4]$

FARBE: dunkelbraun bis schwarz

STRICH: gelbbraun bis schwärzlichbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz, metallartiger Diamantglanz auf Spaltflächen/undurchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, dicktafelig, nadelig (mit Streifung), keilförmig



Aggregatform: körnig, spätig, schalig, blättrig, strahlig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Tafeln)/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, pneumatolytisch

Erzgänge, Pegmatite

Zinnwald im Erzgebirge, Pechtelsgrün und Tirpersdorf im Vogtland

Ähnliche Minerale: Kolumbit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; in Salzsäure unter Abscheidung von gelbem Wolframoxid löslich; in Schwefelsäure färbt sich Pulver blau

Arsen kies, Molybdänglanz, Antimonit, Zinnstein, ged. Wismut, Wismutglanz, Scheelit, Fluorit Apatit, Zinnwaldit, Quarz, Turmalin

Abb. Seiten 11, 258

68 Goethit $\alpha\text{-FeOOH}$ rhombisch $\kappa H = 5 - 5\frac{1}{2}$

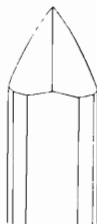
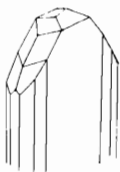
(Nadeleisenerz) $D = 4,0 - 4,4$

FARBE: dunkelbraun bis schwarz, lichtgelb

STRICH: braun bis braungelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz bis Halbmattglanz/ undurchsichtig, dünne Splitter braun bis gelb durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, haarig, säulig, auch dünn tafelig



Aggregatform: samtartig, faserig-krustig, strahlig, glaskopfartig, derb, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen

Absatzgesteine

auf fast jeder Lagerstätte anzutreffen

Ähnliche Minerale: Limonit, Manganit, Lepidokrokit, Hämatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwarz und magnetisch werdend; gibt im Kölbchen unter Rotfärbung Wasser ab; in Salzsäure löslich

Limonit, Hämatit, Pyrit, Siderit, Quarz, Chalzedon, Kalzit

Abb. Seite 258

69 Pyrochlor $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$

(Koppit) kubisch $H = 5 - 5\frac{1}{2}$
 $D = 4 - 4,4$

FARBE: dunkelbraun, rötlichbraun, gelblichgrün, mitunter bräunlichschwarz, hellgelbe Säume an der Oberfläche

STRICH: lichtbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz, Fettglanz, Glas- oder Pechglanz/halbdurchsichtig oder durchscheinend

Kristallausbildung: Würfel, Achtfächner; XX eingewachsen

Aggregatform: körnig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich (Achtfächner)/muscheliger; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, pegmatitisch
Nephelin-Pegmatite, Umwandlungsgesteine (metamorphe Kalke)
Laacher See; Schelingen am Kaiserstuhl

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; wird beim Erhitzen gelb
Nephelin, Zirkon

70 Samarskit $(\text{Y}, \text{Er}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca}, \text{U}, \text{Th}, \text{Zr})(\text{Nb}, \text{Ta})_2(\text{O}, \text{OH})_6$

rhombisch $H = 5 - 6$
 $D = 5,6 - 5,8$

FARBE: samtschwarz bis bräunlichschwarz

STRICH: dunkler rötlichbraun bis schwarz

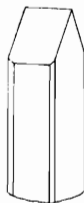
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: stark pechartiger Glanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, prismenförmig,
auf- und eingewachsene XX

Aggregatform: dicht, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/flachmuscheliger

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch
Miask im Ural; Norwegen



Ähnliche Minerale: Fergusonit, Niobit, Tantalit, Gadolinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht an den Kanten zu schwarzem Glas schmelzend; salzsaure Lösung wird bei Zinnzugabe blau
Niobit, Monazit, Zirkon

71 Chromit	FeCr_2O_4	kubisch	$H = 5\frac{1}{2}$
(Chromeisenerz)	46% Cr		$D = 4,0 - 4,8$

FARBE: eisen- bis bräunlichschwarz

STRICH: braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbm Metallglanz – fettiger Glanz/undurchsichtig

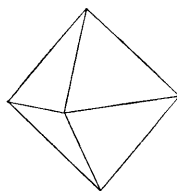
Kristallausbildung: XX selten; kleine Achtflächner

Aggregatform: körnig, eingesprengt, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis uneben brechend

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch

basische Tiefen-(Erstarrungs-)Gesteine
und aus ihnen hervorgegangene
Umwandlungsgesteine; Seifen
Kraubath in der Steiermark



Ähnliche Minerale: Magnetit, Franklinit, Gahnit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; nach dem Glühen magnetisch; in Säure unlöslich; Oxydationsschmelze mit Salpeter gelb
Olivin, Bronzit, Granat, Magnetit

Abb. Seite 259

72 Hausmannit	Mn_3O_4	tetragonal	$H = 5\frac{1}{2}$
	72% Mn		$D = 4,7 - 4,9$

FARBE: eisenschwarz mit Stich ins Braune

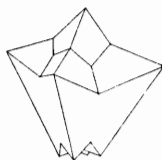
STRICH: rötlichbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Diamantglanz oder Halbm Metallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: achtflächig, spitz-pyramidenförmig; oft Zwillinge

Aggregatform: körnig, spätig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Blättchen)/uneben; spröde



Bildungsweise und Vorkommen: metasomatisch-metamorph; hydrothermal in metamorphen Kalken und Dolomiten; auf Manganitgängen Elgersburg und Öhrenstock im Thüringer Wald; Ilfeld im Harz

Ähnliche Minerale: Magnetit, Braunit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Salzsäure unter Chlorentwicklung löslich
Pyrolusit, Psilomelan, Braunit, Baryt, Dolomit

73 gemeine Hornblende $X_2Y_5(OH, F)_2Z_8O_{22}$

monoklin $H = 5\frac{1}{2} - 6$

$X = Ca, Na$ $D = 3,1 - 3,3$

$Y = Mg, Fe^{2+}, Mn, Fe^{3+}, Al, Ti$

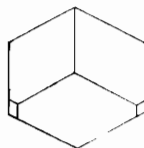
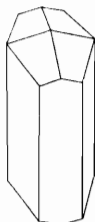
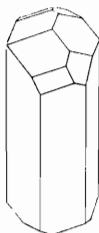
$Z = Si, Al$

FARBE: verschiedene grüne, braune, graugrüne, dunkle bis schwarze Farben

STRICH: graubraun-graugrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Seidenglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: stengelig, säulig, kurzsäulig, sechsseitige Querschnitte



Aggregatform: stengelig, faserig, strahlig, wirrfaserig, körnig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung (faserig)/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, metamorph

Erstarrungsgesteine, Umwandlungsgesteine
allverbreitet

Ähnliche Minerale: Augit, Epidot, Turmalin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar, magnetische Perle

Augit, Granat, Feldspat, Epidot, Kalzit, Magnetit

Abart: basaltische Hornblende, ausgezeichnet durch erhöhten Fe^{3+} -Gehalt

Abb. Seite 259

74 Loparit $(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})\text{TiO}_3$ pseudokubisch $H = 5\frac{1}{2} - 6$
 $D = 4,7 - 4,9$

FARBE: schwarz oder grauschwarz

STRICH: zimtfarben bis graubraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: nur in dünner Schicht durchscheinend

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX eingewachsen

Aggregatform: körnig, feinkristallin, nierig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, magmatisch, hydrothermal

Vorkommen: Umwandlungsgesteine, metamorphe Kalke, Chlorit- und Talkschiefer, basische Erstarrungsgesteine (Ergußgesteine)

Pfäfers in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; Sodaschmelze in Salzsäure gelöst, färbt sich beim Kochen mit Sn violett, danach Blaufärbung durch Nb-Anwesenheit

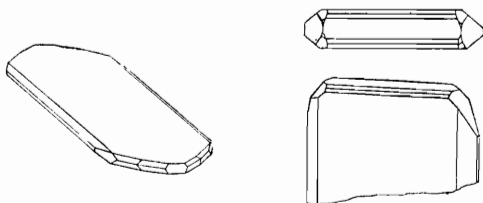
Chlorit, Talk, Serpentin; Melilith, Nephelin, Leuzit

75 Brookit TiO_2 rhombisch $H = 5\frac{1}{2} - 6$
 $D = 3,9 - 4,1$

FARBE: gelblich- bis rotbraun, fast schwarz

STRICH: gelblichweiß bis braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/durchsichtig bis durchscheinend



Kristallausbildung: dünntafelig, selten säulig

Aggregatform: bildet keine Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär
alpine Klüfte

Amsteg in der Schweiz; Prägraten in Tirol

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Säuren unlöslich

Quarz, Adular, Albit, Rutil, Anatas, Titanit

76 **Niobit** $(\text{Fe, Mn})(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6$ rhombisch $H = 6$

(Kolumbit) $40\text{--}75\%\text{Nb}_2\text{O}_5/1\text{--}42\%\text{Ta}_2\text{O}_5$ $D = 5,2\text{--}8,2$

Tantalit = $(\text{Fe, Mn})(\text{Ta, Nb})_2\text{O}_6$

FARBE: schwarz oder bräunlichschwarz

STRICH: braun, kirschrot, schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: metallartiger Pechglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, kurzsäulig, kurznadelig; XX eingewachsen



Aggregatform: derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch

Granitpegmatite

Zwiesel und Hagendorf in Bayern

Ähnliche Minerale: Gadolinit, Orthit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; von HCl angegriffen

Beryll, Kryolith

77 Orthit

monoklin $H = 6$

kompliziertes Silikat mit seltenen Erden

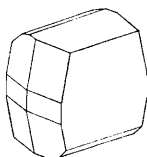
$D = 4,1$
wenn frisch

FARBE: gelb, braun, pechschwarz

STRICH: braun, grünlichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Pechglanz, Fettglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, tafelig, XX selten



Aggregatform: rundliche Körner, stengelig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch, kontaktmetamorph, metamorph

granitische Erstarrungsgesteine, Pegmatite, kontaktmetamorphe Kalke, Umwandlungsgesteine

Laacher See, Weinheim, Plauenscher Grund bei Dresden

Ähnliche Minerale: Gadolinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Aufschäumen zu schwarzem magnetischem Glase schmelzend, zuweilen unter SiO_2 -Abscheidung in Salzsäure löslich

Feldspat, Hornblende, Quarz

Abb. Seite 259

78 Rutil

TiO_2

tetragonal $H = 6 - 6\frac{1}{2}$

60% Ti

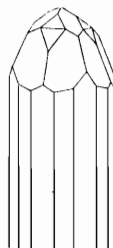
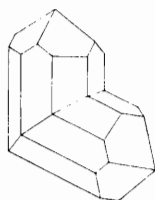
$D = 4,2 - 4,3$

FARBE: verschiedene rote Farbtöne, seltener gelbbraun und gelblich, eisen-schwarz, farblos

STRICH: gelblich-braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz bis metallähnlicher Glasglanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, längsgestreift, knie- und herzförmige Zwillinge



Aggregatform: strahlig, körnig, derb, eingesprengt, gitterartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch, metamorph, sedimentär

alpine Klüfte, Pegmatite basischer Erstarrungsgesteine, Seifen

Pfäferschnee in den italienischen Alpen, Binnental/Schweiz

Ähnliche Minerale: Magnetit, Ilmenit, Wolframit, Zinkit, Zinnstein

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; unlöslich in Säuren
Titanit, Anatas, Brookit, Feldspat, Apatit, Quarz

Abb. Seite 259

GRUPPE II · Halb- bzw. nichtmetallisch/Strichfarbe rot

79 Realgar

As_4S_4
69% As

monoklin

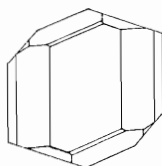
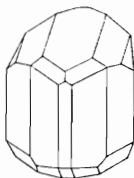
H = $1\frac{1}{2}$ – 2
D = 3,5 – 3,6

FARBE: lichtrot, seltener dunkelrot

STRICH: orangerot bis gelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz, auf Bruchflächen Harz- oder Fettglanz/halbdurchsichtig

Kristallausbildung: kurzadelig, kurzsäulig, dicktafelig; XX klein; XX einzeln und in Drusen



Aggregatform: dicht, erdig, körnig, angeflogen, derb, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/kleinmuscheliger, splitterig; mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, exhalativ, sedimentär
Erzgänge, Absatzgesteine, vulkanisches Sublimat
Binnental

Ähnliche Minerale: Zinnober, Krokoid

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; verbrennt mit bläulichweißer Flamme unter starkem Arsengeruch; im Kölbchen rotes Sublimat

Arsen, Antimonit, Zinkblende, Pyrit, Auripigment, Baryt, Kalzit

Abb. Seite 12

80 Erythrin

$\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$

monoklin

H = 2 (erdig 1)

(Kobaltblüte)

D = 3,1

FARBE: pfirsichblütenrot, durch Zersetzung grünlichgrau

STRICH: etwas lichter rötlich, das getrocknete Pulver tief lavendelblau

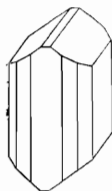
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelförmige,
schuppige, haarförmige XX

Aggregatform: dünnstengelig, strahlig, blätterig, erdig;
Anflug, Beschlag, Ausblühung

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Schuppen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Erzgänge (Verwitterungszone)
wenig verbreitet
Schneeberg, Riechelsdorf, Bieber, Wolfach, Wittichen



Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; As-Beschlag;
in Säuren rote Lösung
ged. Kupfer, Malachit, Azurit, Chalkosin, Chrysokoll, Tenorit, Limonit

Abb. Seite 15

81 Zinnober

HgS

trigonal

H = 2 – 2½

(Zinnabarit)

86% Hg

D = 8,1 – 8,2

FARBE: rot, mitunter bleigrau angelaufen

STRICH: scharlachrot

GLANZ-DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/halbdurchsichtig

Kristallausbildung: dünntafelig, dicktafelig,
kurzsäulig, kurznaedelig, deformierte
Würfel

Aggregatform: körnig, dicht, derb,
erdig, angefliegen, krummschalig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/splitterig; mild

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metasomatisch,
Erzgänge, heiße Quellen, Verdrängungen und Imprägnationen in Ab-
satzgesteinen
Moschellandsberg

Ähnliche Minerale: Realgar, Erythrin, Hämatit, Krokoit, Kuprit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. flüchtig; mit Soda Quecksilber;
sublimiert im Kölbchen; nur in Königswasser löslich
Quecksilber, Schwazit, Kupferkies, Pyrit, Zinkblende, Hämatit, Blei-
glanz, Markasit, Siderit, Baryt, Dolomit, Kalzit, Fluorit, Opal, Chalze-
don

Abb. Seite 259



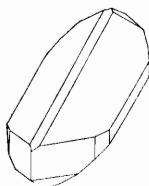
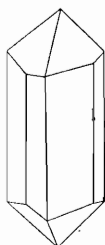
82 Krokoid	$\text{Pb}[\text{CrO}_4]$	monoklin	$H = 2\frac{1}{2} - 3$
(Rotbleierz)	22% Cr_2O_3		$D = 6,0$

FARBE: gelblichrot, orangerot, verblässend

STRICH: orangerot bis gelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettartiger Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, säulig, spießig; flächenreiche XX



Aggregatform: derb, eingesprengt, angefliegen

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich in Längsrichtung (prismatisch)/muscheliger; mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Erzgänge (Verwitterungsbereich)

Sowjetunion, Brasilien

Ähnliche Minerale: Realgar, Zinnober

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. stark zerknisternd und leicht schmelzend; verpufft auf Kohle, Pb-Kügelchen; in Salzsäure unter Bleichloridfällung löslich

Bleiglanz, Limonit, Zerussit, Mimetisit

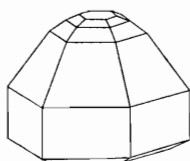
83 Greenockit	CdS	hexagonal	$H = 3 - 3\frac{1}{2}$
			$D = 4,9 - 5$

FARBE: honig- bis orange gelb, braun

STRICH: gelbbrot

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker fettiger Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: pyramidenartig, prismenförmig, tafelig; XX selten



Aggregatform: dicht, erdig, kleinnierig; vor allem als Überzug

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen

Ähnliche Minerale: Bismutit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; Cd-Beschlag; in Salzsäure unter H_2S -Entwicklung löslich
Zinkblende, Smithsonit, Bleiglanz, Kalzit, Prehnit

84 Kuprit	Cu_2O	kubisch	$H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Rotkupfererz)	88% Cu		$D = 5,8 - 6,2$

FARBE: rot, rotbraun, bleigrau

STRICH: braun- bis blutrot

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/nur in feinen Splittern halbdurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen;
XX aufgewachsen

Aggregatform: derb, eingesprengt,
körnig, dicht, haarig, büschelig

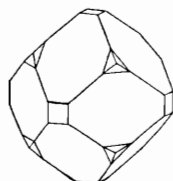
Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich,
(Achtflächner)/muschelrig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Chessy bei Lyon

Ähnliche Minerale: Proustit, Pyrargyrit, Zinnober, Hämatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. Schwarzfärbung; mit Soda Kupferkorn; in Säuren löslich
Malachit, Azurit, ged. Kupfer, Limonit, Chrysokoll, Tenorit

Abb. Seite 260



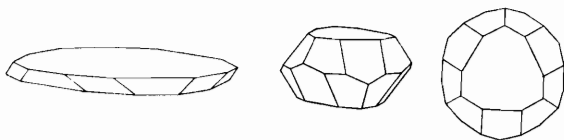
85 Hämatit	Fe_2O_3	trigonal	$H = 6\frac{1}{2}$
(Eisenglanz, Roteisenstein, 70% Fe Spekularit)			$D = 4,9 - 5,3$

FARBE: stahlgrau, eisenschwarz, erdige Arten hellrot, bunt angelaufen

STRICH: kirschrot bis rotbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Halbmetallglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, blätterig, schuppig, linsenförmig, stark deformierte Würfel, pyramidenartig; oft feinstkristallin



Aggregatform: körnig, strahlig, stengelig, dicht; auch erdig und pulverig bzw. nierig, stalaktitisch, glaskopfartig

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis erdig brechend; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, pneumatolytisch (metasomatisch), vulkanisch-exhalativ, sedimentär, metamorph
metamorphe Eisenlagerstätten (ehemalige eisen- und quarzreiche Sedimente), Erzgänge, Gesteinspigment, Verdrängungen
Altenberg, Schneeberg im Erzgebirge, Lahn-Dill-Gebiet, Elbingerode, Osterode

Ähnliche Minerale: Ilmenit, Magnetit, Chromit, Proustit, Pyrargyrit, Zinnober

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, nach dem Glühen magnetisch; in Salzsäure löslich

Limonit, Goethit, Pyrolusit, Psilomelan

Abb. Seiten 11, 260

GRUPPE II · Halb- bzw. nichtmetallisch Strichfarbe gelb

86 Auripigment As_2S_3 monoklin $H = 1\frac{1}{2} - 2$
61% As (pseudorhombisch) $D = 3,4 - 3,5$

FARBE: zitronengelb mit rötlichem bis bräunlichem Ton, feinkristalline Massen sind schmutziggelb

STRICH: lichtgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz und Halbmattglanz/durchscheinend, Spaltblättchen durchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig;
XX klein und selten

Aggregatform: breitstengelig, radialstrahlig,
blättrig, pulverig, erdig, körnig,
derb, plattig, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/mild,
schneidbar, biegsam



Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär
Erzgänge, heiße Quellen, karbonatische Absatzgesteine
Binnental in der Schweiz

Ähnliche Minerale: Realgar

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzend, verbrennt mit
bläulichweißer Flamme unter Arsengeruch; im Kölbchen dunkelgelbes
Sublimat; in Kalilauge löslich
ged. Arsen, Realgar, Antimonit, Zinkblende, Pyrit, Baryt, Kalzit, Dolomit

Abb. Seite 15

87 Autunit $\text{Ca}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ tetragonal $H = 2$
(Kalkuranglimmer) 58–63% UO_3 $D = 3 - 3,2$

FARBE: zitronengelb, grünlichgelb, graugelb

STRICH: gelblich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: schuppig, dünntafelig, dicktafelig

Aggregatform: schuppig, erdig, dicht, angefliegen; aufgewachsen

Kristallausbildung: nadelig

Aggregatform: faserig, filzig, derb, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Erzgänge, meist als Neubildung
aus Pechblende in Granithohlräumen
Wölsendorf in Bayern



Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. fast unschmelzbar; durch Säuren leicht zersetzbar
Pechblende, Uranglimmer, Uranocker, Fluorit

90 Copiapit $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Fe}_4 [\text{OH}/(\text{SO}_4)_3]_2 \cdot 20 \text{H}_2\text{O}$

triklin

$H = 2\frac{1}{2}$

$D = 2,1 - 2,2$

FARBE: hell- bis orangegelb, dicht auch olivgrün

STRICH: blaßgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Perlmuttglanz auf (010), sonst matt glänzend

Kristallausbildung: tafelig (sechsseitig), faserig

Aggregatform: körnig, schuppig, erdig, dicht, mehlig, derb; als Überzug oder Beschlag

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach der Tafelfläche (Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsbereich von Erzgängen
Rammelsberg im Harz (im sog. Kupferrauch)

Ähnliche Minerale: Jarosit, Limonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: gibt im Kölbchen viel Wasser ab
Pyrit

91 Gummit Uranoxide + H_2O (Gemenge!)

$H = 2\frac{1}{2} - 5$

$D = 3,9 - 6,4$

FARBE: orangerot bis graugelb

STRICH: zitronengelb, strohgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: gummiartig aussehend/undurchsichtig

Kristallausbildung: –

Aggregatform: gelartig, gummiartig, derb, dicht, nierig, auch erdig

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen, Absatzgesteine, Klüfte im Granit
Schneeberg, Johanngeorgenstadt, Jáchymov (Joachimsthal)

Ähnliche Minerale: Uranozirit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar

Quarz, Limonit, Erythrin, Uraninit, Malachit

Abb. Seite 17

92 Jarosit $\text{KFe}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$

trigonal

H = 3 – 4

(Gelbeisenerz)

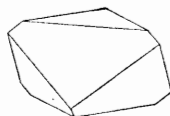
D = 3,1 – 3,3

FARBE: ockergelb, oft honiggelb bis nelkenbraun

STRICH: gelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- bis Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, würfelig (verzerrt); kleine XX



Aggregatform: körnig, faserig, schuppig, erdig, derb, pulverig, nierig, traubig;
Krusten

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Schuppen)/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsbereich von Erzgängen
Schwarzenberg im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Limonit, Copiapit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. bei Rotglut SO_2 -Geruch, Schwärzung oder Bräunung; im Kölbchen Wasserabgabe; in Säuren löslich
Limonit, Hämatit, Quarz, Alunit

93 Kakoxen $\text{Fe}_4[\text{OH}/\text{PO}_4]_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ hexagonal $H = 3 - 4$
 $D = 2,2 - 2,4$

FARBE: gelb bis bräunlichgelb

STRICH: strohgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: meist Seidenglanz, auch Wachsglanz

Kristallausbildung: faserig, haarig, feinnadelig

Aggregatform: kurzfasrig, radialstrahlig, derb, kugelig, traubig; Überzüge

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Brauneisenerzlager und Erzgänge (Verwitterungszone)

Grube Eleonore bei Gießen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; bläulichgrüne
Flammenfarbe; gibt im Kölbchen Wasser ab; in Salzsäure leicht löslich
Limonit

Abb. Seite 17

94 Powellit $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$ tetragonal $H = 3\frac{1}{2}$
 $D = 4,3 - 4,5$

FARBE: blaßgelb, gelblichgrün

STRICH: hellgelblich bis -grünlich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz

Kristallausbildung: tafelig, pyramidenartig; kleine XX

Aggregatform: schuppig, stengelig; derb, krustig

Spaltbarkeit/Bruch: uneben

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsbereich von Erzgängen

Ähnliche Minerale: Scheelit, Zölestin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: auf Kohle Mo-Beschlag, löslich in Salzsäure
Molybdänglanz, ged. Kupfer; Scheelit

95 Carnotit $K_2[(UO_2)_2/V_2O_8] \cdot 3H_2O$ rhombisch H = etwa 4
ca. 12% V und 64% UO_3 D = 4,5

FARBE: hellgelb bis grünlichgelb

STRICH: hellgelb bis grünlichgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Glanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz

Kristallausbildung: tafelig, blätterig; XX undeutlich

Aggregatform: körnig, pulverig, fächerförmig, nierenförmig, traubig, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Erzgänge, Absatzgesteine (jeweils in der Verwitterungszone)
Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Autunit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: unbelichtetes Fotomaterial wird geschwärzt; Wasserabgabe im Kölbchen; mit Salzsäure blutrote Lösung, die beim Erhitzen entfärbt wird.

96 Zinkit ZnO hexagonal H = $4\frac{1}{2}$ – 5
(Rotzinkerz) D = 5,4 – 5,7

FARBE: orangegelb oder dunkelrot

STRICH: rötlichgelb

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: natürliche XX selten

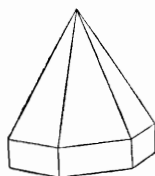
Aggregatform: körnig, spätig, schalig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, kontaktmetasomatisch
in metamorphen Kalksteinen
Franklin, New Jersey, USA

Ähnliche Minerale: Rutil, Zinnober

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, Zinkbeschlag;
in Säuren unlöslich
Franklinit, Willemit, Kalzit, Rhodonit, Granat



97 **Lepidokrokit** $\gamma\text{-FeOOH}$ rhombisch H = 5
(Rubinglimmer) 62% Fe D = 4,1

FARBE: dunkelrot bis rotschwarz, Splitter rubinrot bis gelbrot

STRICH: ockergelb bis braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/dünne Splitter durchsichtig

Kristallausbildung: tafelig

Aggregatform: wirrblättrig, rosettenartig, locker, pulverig, schuppig, glaskopfartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Absatzgesteine, Verwitterungszone von Erzgängen
an die Vorkommen des Limonits gebunden

Ähnliche Minerale: Limonit, Goethit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. an den Kanten schmelzbar; nach dem Glühen schwarz und magnetisch; Wasserabgabe im Kölbchen unter Rötung; in Salzsäure langsam, in Salpetersäure rasch löslich
Limonit, Hämatit, Quarz, Bleiglanz, Kalzit, Chalzedon

98 **Hypersthen** $(\text{Fe, Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ rhombisch H = 5 – 6
D = 3,3 – 3,5

FARBE: grün bis grünlichschwarz oder braunschwarz

STRICH: gelb bis braun, grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: metallartiger Glasglanz, kupferroter Schiller/un-durchsichtig

Kristallausbildung: säulig, tafelig, XX flächenreich und selten

Aggregatform: derb, körnig, blättrig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich in Längsrichtung/schalige Absonderung

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, seltener metamorph
basische Erstarrungsgesteine, selten in Gneisen
Bad Harzburg im Harz; Bodenmais in Bayern

Ähnliche Minerale: Enstatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer zu magnetischem Glas
schmelzend, durch Säuren langsam zersetzt
Feldspat, Olivin, Hornblende, Biotit, Magnetkies

GRUPPE II · Halb- bzw. nichtmetallisch Strichfarbe grün

99 **Annabergit** $\text{Ni}_3[\text{AsO}_4] \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 2$
(Nickelblüte) $D = 3 - 3,1$

FARBE: apfel- bis dunkelgrün

STRICH: hellgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: haarig, nadelig, schuppig; XX sehr selten

Aggregatform: dicht, erdig; pulverig, derb; Anflug, Beschlag, Ausblühung

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsbereich von Erzgängen
Annaberg; Riechelsdorf

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. As-Beschlag und graues Korn;
in Säuren leicht löslich
Chloanthit, Nickelin, Proustit, Erythrin, Siderit, Baryt, Kalzit

Abb. Seite 15

100 **Torbernit** $\text{Cu}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 12-8 \text{H}_2\text{O}$ tetragonal $H = 2 - 2\frac{1}{2}$
(Kupferuranglimmer) $57 - 61\% \text{UO}_3$ $D = 3,2 - 3,6$

FARBE: smaragdgrün, grasgrün; satter und leuchtender als Autunit

STRICH: blaßgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: dünntafelig, pyramidenförmig, XX einzeln aufgewachsen

Aggregatform: schuppige Bündel, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Schuppen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen

Erzgebirge, Vogtland; Wölsendorf in Bayern

Ähnliche Minerale: Zeunerit, Autunit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; in Salpetersäure löslich; Cu-Reaktion; gibt im Kölbchen Wasser ab
Limonit, Hämatit, Quarz



101	Uranozirzit	$\text{Ba}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	$\text{H} = 2 - 2\frac{1}{2}$
		56-57% UO_3	$\text{D} = 3,53$

FARBE: schmutziggelb bis grüngelb

STRICH: hellgelblichgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: -

Kristallausbildung: dünntafelig, schuppig

Aggregatform: dünnblättrig; in Drusen, Überzüge

Spaltbarkeit/Bruch: gut spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Uranerzgängen

Bergen im Vogtland, Wölsendorf in Bayern

Ähnliche Minerale: Autunit, Uranospinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: –

102	Glaukonit	Kaliumsilikat	monoklin	H = 2 – 3 D = 2,2 – 2,8
-----	------------------	---------------	----------	----------------------------

FARBE: dunkelgrün bis grünlich-schwarz

STRICH: grün bis graugrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: matt, auch Glas- und Fettglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX nicht bekannt

Aggregatform: locker, erdig, blätterig; in losen Körnern

Spaltbarkeit/Bruch: spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

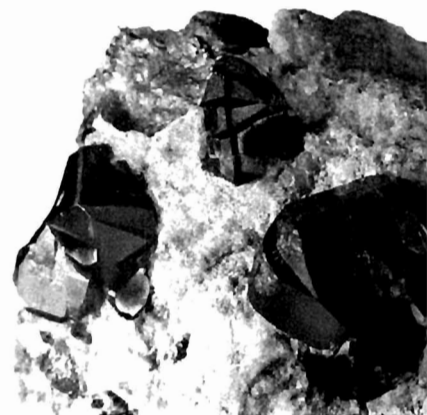
Neubildung in Absatzgesteinen (Sandsteine, Tone, Kalke)

Elbsandsteingebirge; Vorharzgebiet

Ähnliche Minerale: Seladonit, Thuringit, Chamosit

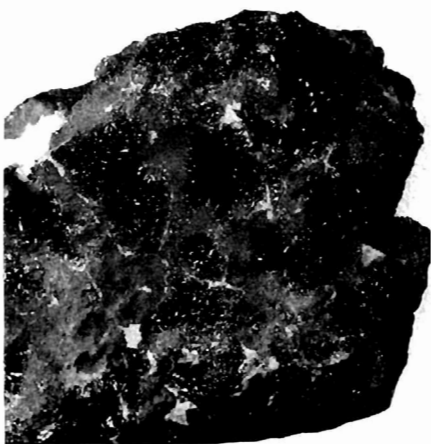
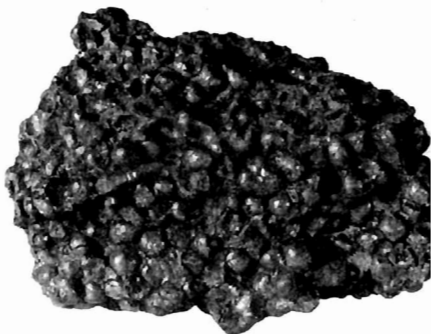
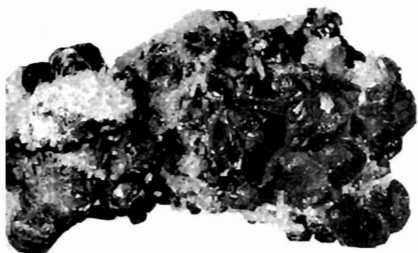
Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu schwarzem magnetischen Glase schmelzend

Phosphorit



53 Pyrolusit (S. 224)
56 Psilomelan (S. 226)
59 Ilvait (S. 228)

55 Pechblende (S. 225)
58 Magnetit (S. 227)
61 Zinnstein (S. 230)



63 Zinkblende (S. 231)
65 Limonit (S. 233)
67 Wolframit (S. 234)

65 Limonit (S. 233)
66 Manganit (S. 233)
68 Goethit (S. 235)



71 Chromit (S. 237)

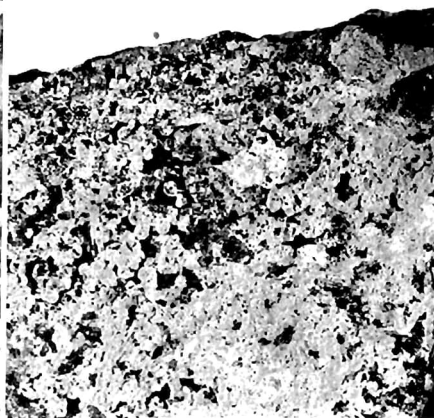
77 Orthit (S. 241)

78 Rutil in Quarz (S. 242)

73 Hornblende (S. 238)

78 Rutil (S. 242)

81 Zinnober (S. 244)



84 Kuprit (S. 246)
85 Hämatit (S. 247)
85 Hämatit (S. 247)

85 Hämatit, Eisenrose (S. 247)
85 Hämatit (S. 247)
103 Garnierit (S. 261)

103 **Garnierit** $(\text{Ni}, \text{Mg})_6[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = 2 - 4$
 $4,3 - 36\% \text{Ni}$ $D = 2,3 - 2,8$

FARBE: kräftig bläulichgrün oder tief grasgrün

STRICH: hellgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: matt, manchmal Fett-, Wachsglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX unbekannt

Aggregatform: traubig, nierig, krustig, gebändert, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muschelrig

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsmineral ultrabasischer Gesteine
 St. Egidien in Sachsen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar, in Säuren zersetzbar

Olivin, Serpentin, Magnesit, Chrysopras, Limonit, Opal

Abb. Seite 260

104 **Chamosit** Eisensilikat monoklin $H = 3$
 $D = 3,03 - 3,40$

FARBE: grünlich bis dunkelgrau und schwarz

STRICH: graugrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: matt bis schwach glasglänzend/undurchsichtig

Kristallausbildung: XX nicht bekannt

Aggregatform: dicht, derb, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Eisenlager in Absatzgesteinen
 Chamoson im Wallis; Lothringen; Nucic bei Prag

Ähnliche Minerale: Thuringit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht zur Kugel schmelzend, in Säuren gelatinierend

Limonit, Magnetit, Siderit, Kalzit, Bleiglanz, Pyrit

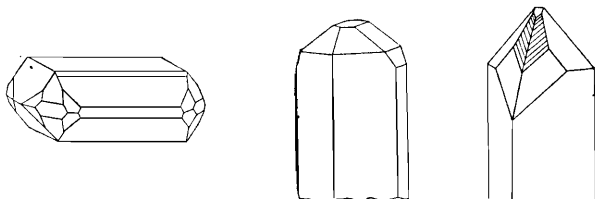
105 Atakamit $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ rhombisch $H = 3 - 3\frac{1}{2}$
ca. 6% Cu $D = 3,76$

FARBE: hell- bis schwarzgrün

STRICH: apfelgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- bis Diamantglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, haarig, dicktafelig, prismenförmig



Aggregatform: strahlig, blätterig, körnig, pulverig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Blättchen)/muscheliger; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal
Verwitterungszone von Erzgängen, an Vulkanen
Chile

Ähnliche Minerale: Malachit, Dioptas

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. Kupferkorn; blaugrüne, später grüne Flammenfarbe; im Kölbchen Wasserabgabe; in Säuren und Ammoniak löslich
Limonit, Hämatit

106 Malachit $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/\text{CO}_3]$ monoklin $H = 3\frac{1}{2} - 4$
57% Cu $D = 3,9 - 4,1$

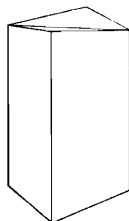
FARBE: XX schwärzlichgrün, 00 smaragdgrün

STRICH: hellgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: XX Glasglanz, Diamantglanz,
00 seiden- bis mattglänzend/durchscheinend
bis undurchsichtig

Kristallausbildung: faserig, nadelig

Aggregatform: nierig-traubig, achatähnlich gebändert,
büschelig; Anflug, Ausblühung, Durchtränkungen



Spaltbarkeit/Bruch: gut/muschelig, splitterig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Verwitterungsbereich von Erzgängen, Absatzgesteine

Betzdorf (Siegen); Rheinbreitbach; Dillenburg; Lauterberg (Harz);

Chessy (Frankreich)

Ähnliche Minerale: Chrysokoll, Atakamit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: schmilzt v.d.L.; Reduktion auf Kohle zu Cu-Flittern; im Kolben unter Schwärzung Wasserabgabe; löslich in Säuren und Ammoniak

Limonit, Kupferkies, Bornit, Tetraedrit, Chalkosin, Kuprit, ged. Kupfer, Hämatit, Azurit

Abb. Seiten 15, 23

107 Dioptas $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ trigonal $H = 5$

40% Cu

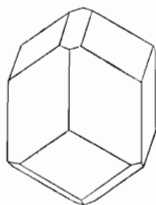
$D = 3,3 - 3,4$

FARBE: smaragdgrün

STRICH: grün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig oder durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, XX aufgewachsen



Aggregatform: selten massige oder kristalline Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen

Ähnliche Minerale: Malachit, Atakamit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L., unschmelzbar; färbt sich beim Erhitzen schwarz; mit Soda Kupferkorn; in Salzsäure gelatinierend
Chrysokoll, Kalzit

Abb. Seite 17

GRUPPE II · Halb- bzw. nichtmetallisch

Strichfarbe blau

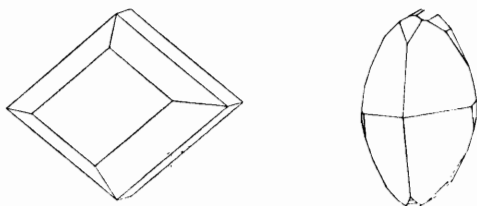
109 **Azurit** $\text{Cu}_3[(\text{OH})/\text{CO}_3]_2$ monoklin $H = 3\frac{1}{2} - 4$
 (Kupferlasur) 55% Cu $D = 3,7 - 3,9$

FARBE: XX lasurblau, 00 heller blau

STRICH: hellblau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, kurzsäulig, prismatisch



Aggregatform: strahlig, nierig, traubig, derb, dicht, pulverig, erdig, in kugeligen Gruppen, Imprägnationen, Anflug, Überzug

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bzw. deutlich nach zwei Richtungen/muschelig bis uneben, splitterig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär
 Verwitterungsbereich von Erzgängen, Absatzgesteine
 XX von Chessy (Frankreich)

Ähnliche Minerale: Linarit, Vivianit, Lasurit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schmelzbar; Cu-Flitter auf Kohle;
 in Säuren und Ammoniak löslich; im Kölbchen unter Schwärzung Wasserabgabe
 Malachit, Limonit, Kupferkies, Enargit, Tetraedrit, Kuprit, Chalkosin

Abb. Seite 17

110 Lasurit $(\text{Na, Ca})_8[\text{SO}_4, \text{S, Cl}_2]/(\text{AlSiO}_4)_6]$

(Lapislazuli)

kubisch

$H = 5\frac{1}{2}$

$D = 2,4$

FARBE: dunkel lasurblau, ungleichmäßig gefärbt, manchmal grünlich oder violett

STRICH: heller blau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/kantendurchscheinend

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX sehr selten

Aggregatform: dicht, feinkörnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph

Kalke am Kontakt zu Erstarrungsgesteinen

Afghanistan, selten im Tuff der Albaner Berge

Ähnliche Minerale: Sodalith, Nosean, Hauyn, Lazulith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schmelzbar, weiße Kugel; durch

Salzsäure zersetzbar, H_2S -Geruch

Diopsid, Glimmer, Humit, Kalzit

111 Linarit $\text{PbCu}[(\text{OH})_2/\text{SO}_4]$

monoklin

$H = 5\frac{1}{2}$

$D = 5,4$

FARBE: azurblau

STRICH: hellblau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- bis Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, tafelig; kleine flächenreiche XX

Aggregatform: faserig, pulverig, strahlig, eingesprengt; Beschlag

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen, senkrecht zur Tafel oder parallel zur Längs-
erstreckung (Blättchen)/ muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsbereich von Cu-Pb-Lagerstätten

Linares in Spanien; Schapbachthal (Schwarzwald); Tsumeb (SW-Afrika)

Ähnliche Minerale: Kupferlasur

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. Pb-Beschlag; scheidet in Salz-
säure weißes Bleichlorid aus (Unterschied zu Azurit!)

Kupferkies, Bleiglanz, Zerkussit, Kalzit

Abb. Seite 17

GRUPPE III · Nichtmetallisch glänzende Minerale mit grauem, weißem oder ohne Strich

Nichtmetallisch/sehr weich

112 Kaolinit $\text{Al}_4[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = \text{ca. } 1$
21% Al $D = 2,6$

FARBE: farblos, weiß mit gelber, rötlicher, bräunlicher, grünlicher und bläulicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Schuppen und Blättchen Perlmuttglanz, dichte 00 Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: dünntafelig, sechsseitig

Aggregatform: feinschuppig, erdig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Schuppen)/muscheliger bis erdig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Nachbarschaft von Erzgängen mitunter kaolinisiert, Verwitterungsprodukt aluminosilikatischer Gesteine

Kemmlitz (Sachsen); Meißen, Aue in Sachsen; Passau; Sedlec (Zettlitz) bei Karlovy Vary, ČSSR

Ähnliche Minerale: Pyrophyllit, Serizit, Montmorillonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; Blaufärbung beim Glühen mit Kobaltnitratlösung; wird von Schwefelsäure völlig zersetzt
Feldspat, Nephelin, Leuzit, Skapolit

Abb. Seite 299

113 Talk $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = 1$
 $D = 2,7 - 2,8$

FARBE: grobkristalline Massen blaßgrün, sonst weiß mit gelblicher, bräunlicher oder grünlicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- oder Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: schuppig, blätterig, sechsseitig

Aggregatform: krummblättrig, dünnschalig, schuppig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen/uneben bis splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, hydrothermal
Umwandlungsgesteine

Göpfersgrün im Fichtelgebirge; Zöblitz in Sachsen; Zillertal in Tirol

Ähnliche Minerale: Serizit, Chlorit, Brucit, Gips, Pyrophyllit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. gut schmelzbar; blättert beim Glühen auf und leuchtet stark; wird nur von Flußsäure angegriffen
Aktinolith, Magnesit, Dolomit, Apatit, Magnetit, Pyrit

Abb. Seite 299

114 Ulexit $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ triklin $H = 1$

$D = 1,96$

FARBE: weiß, schneeweiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: matter, seidiger Glanz/durchscheinend

Kristallausbildung: XX sehr klein; unter dem Mikroskop nadelig oder blätterig

Aggregatform: faserig, erdig, locker, knollig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar (Blättchen, Schuppen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Absatzgesteine

Niederellenbach an der Fulda

Ähnliche Minerale: Pandernit, Colemanit, Datolith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Wasserabgabe im Kölbchen, gelbe
Flammenfarbe

Halit, Gips, Glauberit

Abb. Seite 299

115 Sassolin $\text{B}(\text{OH})_3$ triklin $H = 1$

(Borsäure) $D = 1,48$

FARBE: weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: auf den Spaltflächen Perlmuttglanz, sonst Glas
glanz/durchscheinend

Kristallausbildung: blätterig, schuppig, spanförmig

Aggregatform: locker, pulverig, krustig, schuppig, zapfenförmig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Schuppen)/faserig; mild, fettig anzu-
fühlen, Blättchen biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Sublimationsprodukt an Vulkanen und heißen Quellen
Sasso in Toskana

Ähnliche Minerale: Borax, Kernit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; grüne Flam-
menfarbe
ged. Schwefel

116 Pyrophyllit $\text{Al}_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = 1 - 1\frac{1}{2}$
 $D = 2,66 - 2,9$

FARBE: weiß, grünlich oder gelblich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, schuppige 00 Perlmuttglanz/durch-
scheinend

Kristallausbildung: tafelig, blätterig, ohne regelmäßige Begrenzung

Aggregatform: schuppig, rosettenförmig, grobstrahlig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; mild, fettig anzufühlen

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, metamorph
Erzgänge, Hohlräume in basaltischen Erstarrungsgesteinen
Recht in der Eifel; Zermatt in der Schweiz

Ähnliche Minerale: Talk, Kaolinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. blätterartiges Aufblähen, un-
schmelzbar; in Schwefelsäure schwer löslich
Quarz, Amblygonit, Disthen

Abb. Seite 299

117 Natrit $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 1 - 1\frac{1}{2}$
(Soda) $D = 1,42 - 1,47$

FARBE: farblos, grau, gelblichweiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kleine XX, tafelig

Aggregatform: pulverig, körnig-stengelig; Überzüge, Ausblühungen

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (schuppig)/muscheliger, erdig

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Absatzgesteine, Bodenausblühungen

Ungarn; Natronseen Nord- und Südamerikas

Ähnliche Minerale: Natronsalpeter

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. gelbe Flammenfarbe, schmilzt im eigenen X-Wasser; leicht löslich in Wasser und Säuren (Aufbrausen)

118 Carnallit $\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ rhombisch $H = 1 - 2$

14% K, 0,015–0,037% Rb $D = 1,6$

FARBE: farblos, weißlich, gelblich; durch schuppigen Eisenglanz rot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: im frischen Bruch Glasglanz, Fettglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: tonnenförmig, dicktafelig; XX selten

Aggregatform: grobkörnig, eingesprengt, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger Bruch, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Salzgesteine

Kalisalzlager



Ähnliche Minerale: Bischofit, Tachyhydrit, Kainit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; bitterer Geschmack; zerfließlich

Halit. Anhydrit, Sylvit, Kainit, Kieserit, Borazit

119 Aurichalzit $(\text{Zn}, \text{Cu})_5[(\text{OH})_3/\text{CO}_3]_2$

rhombisch $H = 1 - 2$

$D = 3,6$

FARBE: blaßgrün, grünlich- bis himmelblau

STRICH: weiß, bläulich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: feinnadelig, feinfaserig

Aggregatform: rosettenförmig, krustig, schalig, dicht; Ausblühung

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Verwitterungsbereich von Erzgängen

Spanien

Ähnliche Minerale: Chrysokoll

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Cu-Perlenreaktion; Zn-Beschlag auf

Kohle

Limonit, Zinkblende, Kupferkies, Smithsonit, Malachit

Abb. Seite 15

120 **Salmiak**

NH_4Cl

kubisch

H = 1 – 2

D = 1,53

FARBE: farblos, durch FeCl_3 gelegentlich gelb oder braun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: Würfel, Achtfächner u. a. Formen; XX sehr klein



Aggregatform: faserig, erdig, muschelrig, krustig, traubig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen (Achtfächner)/muschelrig; mild

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal – exhalativ

an Vulkanen

Vesuv, Ätna

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht und vollständig flüchtig;
mit Soda Ammoniakentwicklung

121 Kalomel Hg_2Cl_2 tetragonal $H = 1 - 2$
 (Quecksilberhornerz) $D = 6,4 - 6,5$

FARBE: farblos, grau- bis gelblichweiß, gelblichgrau, braun

STRICH: weiß

GLANZ: Diamantglanz

Kristallausbildung: dicktafelig, kurzadelig,
 pyramidenartig; XX klein und flächenreich

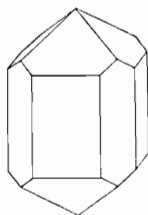
Aggregatform: krustig, hornartig, dicht;
 dünne Drusenhäute

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich (Blättchen)/muscheliger;
 mild, schneidbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
 Verwitterungszone von Erzgängen
 Moschellandsberg

Ähnliche Minerale: Chlorargyrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sublimierend; mit Soda metallisches Quecksilber; in Königswasser löslich
 Zinnober, ged. Quecksilber, Fahlerz, Baryt, Quarz



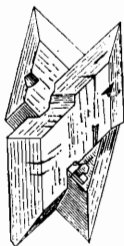
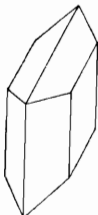
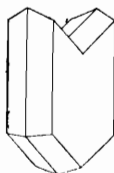
122 Gips $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 1\frac{1}{2} - 2$
 $23\% \text{ Ca}$ $D = 2,3 - 2,4$

FARBE: farblos, weiß, in verschiedenen Farben

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, tafelig, linsenförmig;
 Kontaktzwillinge



Aggregatform: körnig, dicht, faserig, schuppig, erdig, strahlig, derb; Ausblühung

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen bis deutlich (Schuppen und Blättchen)/muscheliger bis faserig; mild, biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine, Erzgänge (Verwitterungsbereich)
Südharz; Nordharz; Jena; Mansfeld

Ähnliche Minerale: Anhydrit, Talk, Kaolinit, Brucit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu trüber Perle schmelzend; Wasserabgabe im Kölbchen; löslich in kochender Kalilauge
Dolomit, Anhydrit, Halit, Aragonit, Borazit, Schwefel
Gips bildet häufig sog. Schwalbenschwänze aus

Abb. Seiten 12, 299

23 Natronsalpeter	NaNO_3	trigonal	$H = 1\frac{1}{2} - 2$
(Chilesalpeter, Nitronatrit)			$D = 2,2 - 2,3$

FARBE: weiß, grau, rötlichbraun, zitronengelb

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: würfelförmig (nach der Raumdiagonalen verzerrt)

Aggregatform: derb, körnig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muscheliger; mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine
Chile

Ähnliche Minerale: Natrit, Kalisalpeter

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sehr leicht schmelzend; auf Kohle verpuffend; etwas hygroskopisch; bitterer, kühlender Geschmack
Halit, Mirabilit, Glauberit, Gips

124 Vivianit $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 1\frac{1}{2} - 2$
 (Blaueisenerz) $D = 2,6 - 2,7$

FARBE: frisch weiß oder farblos, färbt sich an der Luft sofort blau

STRICH: farblos bis bläulichweiß, durch Oxydation dunkel- bis schwarzblau oder grün bzw. grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, auch tafelig; XX selten

Aggregatform: strahlig, erdig, pulverig, derb, kugelig, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär-diagenetisch

Absatzgesteine (Neubildung unter Abschluß
 von Luftsauerstoff)

Waldsassen in Bayern

Ähnliche Minerale: Azurit, Lazulith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu magnetischer Kugel schmelzend; gibt im Kölbchen Wasser; in Säuren löslich

Magnetkies, Pyrit, Kupferkies; Torf, Ton, Raseneisenerz, fossile Knochen und Muscheln



125 Chlorargyrit AgCl kubisch $H = 1\frac{1}{2} - 2$
 (Hornsilber, Kerargyrit) 75% Ag $D = 5,5 - 5,6$

Embolit = $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br})$

Jodobromit = $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br}, \text{J})$

FARBE: frisch farblos, meist grau, gelb, braun oder schwarz

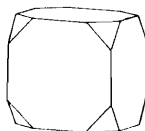
STRICH: weiß, stark glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: XX Diamantglanz,
 dichte Massen Wachsglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: Würfel, Achtfächner; XX sehr klein

Aggregatform: derb, krustig, angefliegen, parallelfaserig

Spaltbarkeit/Bruch: muschelrig; geschmeidig, schneidbar



Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Johanngeorgenstadt im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Kalomel

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sehr leicht unter Aufsieden zu grauer Perle schmelzbar, in Ammoniak löslich
ged. Silber, Zerussit, Kalzit, Baryt, Limonit

126 **Bischofit** $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 1\frac{1}{2} - 2$
D = 1,6

FARBE: weiß

STRICH: weiß

GLANZ: Glasglanz

Kristallausbildung: säulig; XX selten

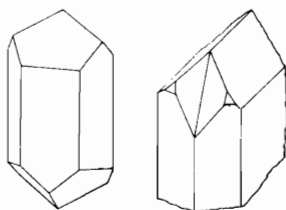
Aggregatform: körnig, blätterig, faserig

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: sekundär
in Salzgesteinen
Vienenburg

Ähnliche Minerale: Carnallit, Kainit, Tachyhydrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: sehr zerfließlich; zwischen den Fingern zerdrückbar
Carnallit, Kainit



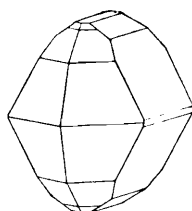
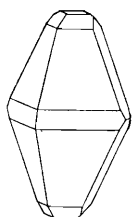
127 **Schwefel** S rhombisch $H = < 2$
D = 2,0 – 2,1

FARBE: schwefelgelb mit Stich ins Grünliche; honigwachsgelb; seltener durch Auripigment orange und durch Bitumen braun gefärbt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: X-Flächen Diamantglanz, Bruchflächen matt/
XX durchscheinend

Kristallausbildung: pyramidenartig, selten tafelig; XX sehr flächenreich, XX aufgewachsen



Aggregatform: dicht, erdig, faserig, derb, pulverig, stalaktitisch, krustig

Spaltbarkeit/Bruch: gut/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär, vulkanisch-exhalativ
Absatzgesteine, vulkanische Sublimate
Staßfurt, Weenzen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: brennbar; SO₂-Geruch
Ton, Kalzit, Gips, Halit, Zölestin, Aragonit

Abb. Seite 14

128 Halit

NaCl

kubisch

H = 2

(Steinsalz)

D = 2,1 – 2,2

FARBE: farblos, blau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, verwitterte Abarten Fettglanz/rein durchsichtig

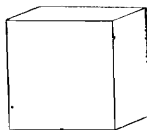
Kristallausbildung: Würfel

Aggregatform: grob- bis mittelkörnig, spätig, feinkörnig,
dicht, parallelfaserig, stalaktitisch

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Würfel)/muscheliger;
mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Salzgesteine
Salzlagerstätten

Ähnliche Minerale: Sylvin



Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzend; gelbe Flammenfarbe; verdampfbar; in Wasser leicht löslich; salziger Geschmack
Anhydrit, Gips, Sylvin, Carnallit, Kainit, Dolomit

Abb. Seiten 12, 300

129 Sylvin	KCl	kubisch	H = 2 D = 1.97–1.99
-------------------	-----	---------	------------------------

FARBE: rein farblos, durch Einschlüsse verschieden gefärbt

STRICH:weiß

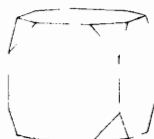
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/rein durchsichtig

Kristallausbildung: Würfel (teilweise abgeflachte Ecken)

Aggregatform: körnig, spätig, dicht; Ausblühung

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Würfel)/mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal
Salzgesteine, an Vulkanen
Salzlagerstätten



Ähnliche Minerale: Halit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: violette Flammenfärbung; v. d. L. leicht schmelzbar und flüchtig; in Wasser sehr leicht löslich; Geschmack unangenehm bitter
Halit, Carnallit, Anhydrit, Kieserit

130 Kalialspeter	KNO ₃	rhombisch	H = 2
(Nitrokalit)			D = 2

FARBE: farblos, weiß, grau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, haarig

Aggregatform: nadelig, haarig, mehlig, körnig, Ausblühungen, Krusten

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine, Verwitterungsbildungen
Cochabamba, Bolivia

Ähnliche Minerale: Natronsalpeter

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. sehr leicht schmelzend; auf Kohle verpuffend; nicht hygroskopisch; kühlender Geschmack
Natronsalpeter

131 Tachyhydrit $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{MgCl}_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

trigonal $H = 2$
 $D = 1,67$

FARBE: wachs- bis honiggelb oder farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, matt/durchscheinend

Kristallausbildung: keine natürlichen XX

Aggregatform: körnig, dicht, derb, nesterförmig, knollig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (verzerrte Würfel)

Bildungsweise und Vorkommen: sekundäre Bildung in Salzgesteinen
Staßfurt, Vienenburg

Ähnliche Minerale: Carnallit, Kainit, Bischofit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: gibt im Kölbchen viel Wasser ab; in Wasser leicht löslich; bitterer Geschmack; zerfließlich
Kainit, Carnallit, Anhydrit

132 Muskovit $\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

monoklin $H = 2 - 2\frac{1}{2}$
 $D = 2,8 - 3,1$

FARBE: dünne Spalttafeln farblos, häufig mit gelblicher, grauer, grüner Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmutterglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, tafelig, sechsseitig



Aggregatform: großblättrig, schuppig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen spaltbar (dünne Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: magmatische Abfolge, metamorph sedimentär
saure Erstarrungsgesteine (nur Tiefengesteine)

Pegmatite, Gneise, Sande, Sandsteine

St. Gotthard, Zillertal in den Alpen; im Fichtelgebirge

Ähnliche Minerale: Phlogopit, Biotit, Paragonit, Talk

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. verhältnismäßig schwer schmelzbar

Feldspat, Quarz, Biotit

Abb. Seiten 20, 300

133 Chlorit	Mg-Fe-Silikat	monoklin	$H = 2 - 2\frac{1}{2}$
			$D = 2,5 - 2,96$

Abarten nach steigendem Fe- und fallendem Mg-Gehalt:

Pennin

Klinochlor

Prochlorit

FARBE: flaschengrün bis grünlichschwarz, seltener rosa, violett oder silberweiß

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz/in dünnen Blättchen durchsichtig, sonst durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, tonnenförmig, meist sechsseitige Umrisse



Aggregatform: blättrig, schuppig, kurzfasrig, erdig,
dicht, derb, plattig, nierig, pulverig, wurmförmig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (dünne Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, hydrothermal, sedimentär
Chloritschiefer, auf Klüften, Verwitterung
Nahetal; verbreitet in Sachsen, in den Vogesen und andernorts

Ähnliche Minerale: Thuringit, Glaukonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Aufblättern zu gelblicher Perle schmelzend

Granat, Diopsid, Zirkon, Feldspat, Quarz, Titanit, Rutil

Abb. Seite 300

134 **Thuringit** komplexes Eisensilikat monoklin $H = 2 - 2\frac{1}{2}$
D ca. 3,2

FARBE: olivgrün bis dunkelgrün

STRICH: grüngrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: zuweilen Perlmuttglanz, matt

Kristallausbildung: XX unbekannt

Aggregatform: derb, feinschuppig, körnig, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Schuppen)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Absatzgesteine

Schmiedeberg bei Saalfeld; im Fichtelgebirge

Ähnliche Minerale: Chamosit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zu schwarzer und magnetischer
Perle schmelzend
Chamosit

135 **Borax** $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 2 - 2\frac{1}{2}$
(Tinkal) D = 1,69 – 1,8

FARBE: farblos, weißgrau, gelblich, bläulich oder grünlich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- oder Fettglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, tafelig

Aggregatform: erdig, mehlig, derb, Krusten

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Schuppen)/
muschelrig; mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

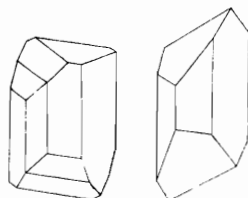
Absatzgesteine

Tibet; Kalifornien; Nevada

Ähnliche Minerale: Sassolin, Kernit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Aufblähen leicht schmelz-
bar; Schmelzperle löst Metalloxide; Geschmack süßlich
Halit, Natrit

Abb. Seite 300



136 Sepiolith $\text{Mg}_4[(\text{OH})_2/\text{Si}_6\text{O}_{10}] \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}_2\text{O}$

(Meerschaum)

rhombisch $H = 2 - 2\frac{1}{2}$

$D = 2$

FARBE: reinweiß oder gelblich, grau, rötlich

STRICH: weiß glänzend

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: feinstkristallin

Aggregatform: dicht, knollig, erdig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: flachmuscheliger

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsprodukt des Serpentin
Hrubšice (Hrubšitz) in Mähren

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schrumpfend und erhärtend; im
Kölbchen unter Wasserabgabe schwarz werdend; durch Salzsäure zer-
setzbar; klebt an der Zunge; schwimmt wegen hoher Porosität auf
Wasser
Chalzedon, Opal, Chlorit, Magnesit

Abb. Seite 300

137 Epsomit $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

(Bittersalz)

rhombisch $H = 2 - 2\frac{1}{2}$

$D = 1,7 - 1,75$

FARBE: farblos, weiß

STRICH: weiß

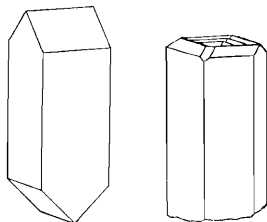
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: haarig, nadelig, säulig

Aggregatform: körnig, faserig, erdig;
radialstrahliger, stalaktitisch, krustiger

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/
muscheliger; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine
Kalisalzlagerstätten



Ähnliche Minerale: Kieserit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: starke Wasserabgabe im Kölbchen,
leicht und schnell in Wasser löslich
Kieserit

138 Palygorskit $(\text{Mg, Al})_2[\text{OH/Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}_2\text{O}$

monoklin $H = 2 - 2\frac{1}{2}$

$D = 2,1 - 2,3$

FARBE: weiß, gelblich, grau, bräunlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Seiden- oder Mattglanz/undurchsichtig

Kristallausbildung: –

Aggregatform: verfilzt, gewebeartig

Spaltbarkeit/Bruch: in dünnen Lagen biegsam

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsprodukt

Ähnliche Minerale: Sepiolith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu blasigem, milchigem Glas
schmelzend; wird in kochender Schwefelsäure zersetzt; im Kölbchen
Wasserabgabe

139 Mellit $\text{Al}_2[\text{C}_{12}\text{O}_{12}] \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ tetragonal $H = 2 - 2\frac{1}{2}$

(Honigstein)

$D = 1,6$

FARBE: gelb, braun, weiß

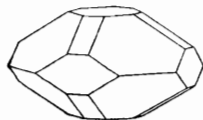
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettiger Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: pyramidenförmig,
XX ein- und aufgewachsen

Aggregatform: körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig;
spröde bis mild



Bildungsweise und Vorkommen: diagenetisch

Absatzgesteine, Kohle

Artern in Thüringen; Lužice (Luschitz) in Böhmen

Ähnliche Minerale: Bernstein

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. verkohlend; reines Al_2O_3 als Rückstand; in Salpetersäure und Kalilauge löslich

140 Zinkblüte $\text{Zn}_5[(\text{OH})_3/\text{CO}_3]_2$ monoklin $H = 2 - 2\frac{1}{2}$
(Hydrozinkit) $D = 3,2 - 3,8$

FARBE: schneeweiß, blaßgelb, auch bräunlich, blaßviolett oder rosa

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: XX seidig glänzend, dichte Massen matt/undurchsichtig

Kristallausbildung: sehr klein, tafelig

Aggregatform: derb, nierig, schalig, stalaktitisch, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Alpen (Raibl, Bleiberg), Nordspanien (Dolores-Grube)

Ähnliche Minerale: Smithsonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, auf Kohle Zinkbeschlag
Smithsonit, Zinkblende, Kalzit

141 Bauxit = Gemisch aus Diaspor $\alpha\text{-AlOOH}$ $H = 1 - 3$
Böhmit $\gamma\text{-AlOOH}$ $D = 2,0 - 2,5$
Gibbsit $\text{Al}(\text{OH})_3$
Kliachit $\text{AlOOH} + \text{aqua}$

FARBE: weiß bis dunkelrotbraun

STRICH: weiß bis dunkelrotbraun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: matt/undurchsichtig

Kristallausbildung: –

Aggregatform: dicht, erdig, derb, feinkörnig, locker, nierig, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig brechend, erdig

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsbildung
Westerwald; Gießen, VR Ungarn

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; mit Kobaltnitrat-
lösung gegläut Blaufärbung

142 **Phlogopit** $\text{KMg}_3[(\text{F}, \text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

monoklin $H = 2 - 3$

$D = 2,7 - 2,9$

FARBE: hell gelblich- bis rötlichbraun, auch farblos, silbrig, grünlich, dicke
Tafeln dunkelbraun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmuttglanz/durchschei-
nend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, sechsseitig

Aggregatform: mitunter großblättrig,
schuppig, auch derb



Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen (dünne Blättchen) spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch, pegmatitisch, metamorph,
kontaktmetasomatisch
Pegmatite, kristalline Schiefer, körnige Kalke und Dolomite
Campolongo im Tessin; Fassatal

Ähnliche Minerale: Muskovit, Biotit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zu Glas schmelzend; Fluorreak-
tion
Apatit, Diopsid, Pargasit

143 Lepidolith Lithiumsilikat monoklin $H = 2 - 3$
(Lithiumglimmer) $D = 2,8 - 2,9$

FARBE: weiß, rosa, blaßviolett, pfirsichblütenrot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz und Silberglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, schuppig; selten XX

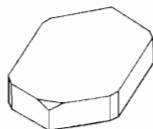
Aggregatform: schuppig, derb, blätterig

Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen (Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch
Granite, Pegmatite
Penig in Sachsen; Rožná in Mähren

Ähnliche Minerale: Zinnwaldit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht zu weißer Perle schmelzend;
rote Flammenfarbe
Turmalin, Topas, Spodumen, Beryll, Amblygonit



144 Zinnwaldit $\text{KLiFeAl}[(\text{F}, \text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
monoklin $H = 2 - 3$
 $1,5\% \text{ Rb}_2\text{O}, 1,6\% \text{ Li}$ $D = 2,9 - 3,2$

FARBE: grau, braun, seltener dunkelgrün bis fast schwarz, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmutterglanz / durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, blätterig, sechsseitig

Aggregatform: fächerförmig, wirrblätterig, derb, faßförmig

Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen spaltbar (sehr dünne Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch
in zinnsteinführenden Graniten, in deren Drusen und auf deren Klüften
Zinnwald im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Lepidolith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzend; rote Flammenfarbe; wird durch Säuren angegriffen
Zinnstein, Wolframit, Scheelit, Fluorit, Quarz, Topas

145 Chrysotil $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = 2 - 3$
(Faserserpentin) $D = 2,5 - 2,6$

FARBE: grünlichgelb mit Goldtönung, weiß, braun

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Seidenglanz/durchscheinend bis durchsichtig

Kristallausbildung: ohne Kristallflächen

Aggregatform: parallel- und wirrfaserig, haarig, aderförmig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Klüften, in Adern ultrabasischer Gesteine
Zöblitz in Sachsen

Ähnliche Minerale: Antigorit, mitunter Grammatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. nur in feinsten Splittern schwer
schmelzbar; im Kölbchen Wasserabgabe; durch Salzsäure zersetzbar
Granat, Chromit, ged. Platin, Garnierit, Magnesit, Talk, Opal

Abb. Seite 300

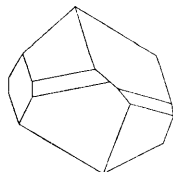
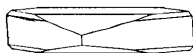
146 Thenardit $\text{Na}_2[\text{SO}_4]$ rhombisch $H = 2 - 3$
 $D = 2,7$

FARBE: farblos, weiß, rötlich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: quaderförmig, tafelig, auch in Doppelpyramiden



Aggregatform: erdig, pulverig, Ausblühungen,
Krusten, Drusen

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen bzw. gut senkrecht und parallel zur Längs-
richtung/uneben; mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal, exhalativ
Absatzgesteine
Sibirien, Chile

Ähnliche Minerale: Mirabilit, Glauberit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; gelbe Flammenfarbe;
in Wasser leicht löslich
Glauberit, Halit, Natronsalpeter, Ulexit

147 Valentinit	Sb_2O_3	rhombisch	H = 2 – 3
(Antimonblüte)	83% Sb		D = 5,6 – 5,8

FARBE: farblos, weiß, asch- und gelblichgrau, gelbbraun

STRICH: weiß

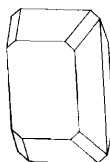
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/halbdurchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, tafelig, schuppig, nadelig, flächenreich

Aggregatform: kurzstrahlig, körnig, fächerförmig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Wolfsberg im Harz; Horhausen; Bräunsdorf



Ähnliche Minerale: Zerussit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. Antimonreaktion; sublimiert
vollständig
Antimonit

148 Chrysokoll	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	(gelförmig)	H = 2 – 4
			D = 2,0 – 2,3

FARBE: smaragdgrün, bläulichgrün, blau, braun, schwarz

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Wachsglanz/halbdurchsichtig

Kristallausbildung: amorph

Aggregatform: nierig, traubig, stalaktitisch, krustig, erdig, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig brechend; spröde bis mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Halbach in Baden; Lauterberg im Harz; Saalfeld in Thüringen

Ähnliche Minerale: Aurichalzit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. mit Soda metallisches Korn, im Kölbchen Wasserabgabe, in Salzsäure unter SiO_2 -Abscheidung löslich
Malachit, Azurit, Kuprit, Dioptas, Limonit, Kupferkies, ged. Kupfer, Zerussit

149 Paragonit $\text{NaAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

(Natronglimmer)

monoklin $H = 2\frac{1}{2}$

$D = 2,8 - 2,9$

FARBE: weiß, grün, grau, bläulich, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Perlmuttglanz, schimmernder seidenartiger Glanz/
durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: Kristalle äußerst klein

Aggregatform: feinschuppig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen spaltbar
(feinste Schüppchen)



Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Glimmerschiefer

Monte Campione in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: Muskovit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. fast unschmelzbar, oft aufblättern; in Säuren unlöslich
Disthen, Staurolith, Grammatit

150 Brucit

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ trigonal

$H = 2\frac{1}{2}$

$D = 2,3 - 2,4$

FARBE: weiß, mitunter grünlich oder farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: im Bruch Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, selten nadelig, spitz-pyramidenförmig

Aggregatform: derb, blätterig, schuppig, auch feinfaserig, plattig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen spaltbar; mild, fettig anzufühlen

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph, metamorph
kontaktmetamorphe Absatzgesteine (Kalke), auf Klüften in Umwandlungsgesteinen
(Serpentinit, Chloritschiefer)
Predazzo

Ähnliche Minerale: Talk, Gips, Alunit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; gibt im Kölbchen Wasser ab; in Säuren löslich
Serpentin, Chlorit, Kalzit, Dolomit

Abb. Seite 301

151 Chalkanthit	$\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	triklin	$H = 2\frac{1}{2}$
	25,5% Cu		$D = 2,1 - 2,3$

FARBE: blau, manchmal grünlich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, schuppig

Aggregatform: dicht, stengelig, körnig, faserig, nierig, krustig, stalaktitisch; Ausblühungen

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/muschelig; mild bis spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsbereich von Erzgängen
Rammelsberg, Halsbrücke bei Freiberg

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. mit Soda Kupferflitter; Wasserabgabe im Kölbchen (Entfärbung); leicht in Wasser löslich
Kupferkies, Pyrit, Melanterit

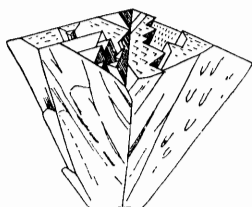
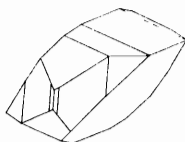
152	Whewellit	$\text{Ca}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$	monoklin	$H = 2\frac{1}{2}$ $D = 2,23$
-----	-----------	--	----------	----------------------------------

FARBE: farblos, weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Perlmutterglanz

Kristallausbildung: tafelig, säulig; flächenreiche XX



Aggregatform: radialfaserig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: diagenetisch
Absatzgesteine (Nähe von Kohle und Bitumen)
Burgk bei Dresden; Zwickau

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu CaO verglühend; in Säuren löslich, in Wasser unlöslich
Kalzit, Ankerit, Siderit, Baryt, Magnetkies, Markasit

153 Kernit	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	monoklin	$H = 2\frac{1}{2}$
(Rasorit)			$D = 1,91$

FARBE: farblos, weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/oft wasserklar durchsichtig

Kristallausbildung: säulig, riesige XX, gestreift, keilförmig

Aggregatform: grobkristallin, spätig, asbestfaserig

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (Blättchen)/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
Umwandlungsgestein (spezieller Fall)
Kalifornien

Ähnliche Minerale: Sassolin, Borax

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Wasserabgabe im Kölbchen; gelbe
Flammenfarbe
Borax, Ulexit

154 Biotit



monoklin $H = 2\frac{1}{2} - 3$

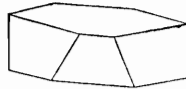
$D = 3,02 - 3,12$

FARBE: schwarz, dunkelbraun, dunkelgrün, bisweilen mit orangefarbener, rötlicher und anderer Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz/undurchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, sechsseitiger Querschnitt



Aggregatform: schuppig, blätterig, selten derb

Spaltbarkeit/Bruch: höchst vollkommen spaltbar (sehr dünne Blättchen)

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch, metamorph
Bestandteil fast aller Erstarrungsgesteine, Gneis, Glimmerschiefer,
riesige Platten in Pegmatiten
Kristalle vom Laacher See, von der Somma, aus dem Albanergebirge

Ähnliche Minerale: gelegentlich Muskovit, Phlogopit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu schwarzem Glase schmelzend;
von heißer konzentrierter Schwefelsäure zersetzbar
Feldspat, Quarz, Hornblende

Abb. Seiten 20, 301

155 Anglesit

$\text{Pb}[\text{SO}_4]$

rhombisch $H = 2\frac{1}{2} - 3$

68% Pb

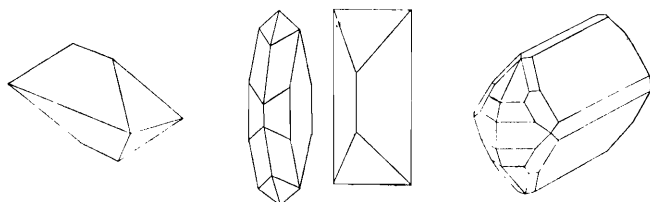
$D = 6,1 - 6,4$

FARBE: farblos, weiß und verschieden gefärbt, auf XX-Flächen schwärzlicher Belag

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, dünn- und dicktafelig, pyramidenförmig



Aggregatform: derb, körnig, nierig, stalaktitisch; Aggregate selten

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich nach verschiedenen Richtungen (Quader)/muscheliger Bruch; sehr spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge (Verwitterungsbereich)

Wissen a.d.Sieg; Bleialf, Badenweiler und Schapbach in Baden;

Schwarzenbach in Kärnten

Ähnliche Minerale: Zerussit, Baryt, Scheelit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht zu (heiß) klarer bzw. (kalt) weißer Perle schmelzbar; auf Kohle Reduktion zu Pb-Kugel; in Kalilauge löslich

Bleiglanz, Zerussit, Limonit

156 Kryolith

Na_3AlF_6

monoklin $H = 2\frac{1}{2} - 3$

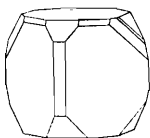
$> 560^\circ\text{C}$ kubisch $D = 2,95$

FARBE: farblos, häufig grauweiß, gelblich oder rötlich, selten schwarz

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: eigentümlich feuchter Glasglanz, auch Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: würfelig, kurzsäulig, kurzadelig; XX selten



Aggregatform: derb, spätig, grobkörnig, dicht, schalig

Spaltbarkeit/Bruch: gut (Würfel)/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: in Pegmatiten
Ivigut auf Grönland

Ähnliche Minerale: Anhydrit, Baryt

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. äußerst leicht schmelzbar; im offenen Röhrchen entweicht beim Glühen Flußsäure; in konzentrierter Schwefelsäure vollständig löslich
Quarz, Siderit, Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies, Zinkblende, Arsenkies, Fluorit, Zinnstein

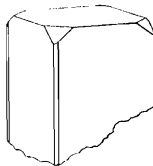
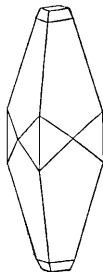
157 Phosgenit $\text{Pb}_2[\text{Cl}_2/\text{CO}_3]$ tetragonal $H = 2\frac{1}{2} - 3$
(Bleihornerz) $D = 6,1$

FARBE: weiß, grau, gelb, braun, grünlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettiger Diamantglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, tafelig, seltener Doppelpyramiden (quadratisch); XX meist aufgewachsen



Aggregatform: derb, körnig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich senkrecht und parallel zur Längserstreckung/
muschelrig; spröde bis mild

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge (Verwitterungsbereich)

große XX von Monte Poni, Sardinien; Grube Christian Levin bei Essen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; Pb- und Cl-
reaktion; in Salpetersäure unter Aufbrausen löslich

Bleiglanz, Zerussit

Abb. Seite 301

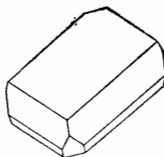
158 Glauberit $\text{CaNa}_2[\text{SO}_4]_2$ monoklin $H = 2\frac{1}{2} - 3$
D = 2,7 – 2,8

FARBE: meist weiß, grau, gelb, fleisch- bis ziegelrot, auch farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Fett-, Permuttglanz/durchsichtig bis
durchscheinend

Kristallausbildung: dicktafelig, säulig, eingewachsene XX



Aggregatform: körnig, erdig, dicht, blättrig, nierig, lagenförmig; Drusen

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen parallel zur Endbegrenzung/muschelig;
spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal

Absatzgesteine (vor allem Salzgesteine), in Blasenräumen dunkler Er-
gußgesteine, Fumarolenabsatz (= aus vulkanischen Dämpfen und Lö-
sungen abgesetzt)

Hallein, Ischl, Hallstadt; Vulcano; Liparische Inseln

Ähnliche Minerale: Mirabilit, Thenardit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerknisternd; leicht schmelzbar;
gelbe Flammenfarbe; in Wasser unter Gipsabscheidung löslich
Halit, Natronsalpeter

159 Antigorit $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ monoklin $H = 2\frac{1}{2} - 3\frac{1}{2}$
(Blätterserpentin) $D = 2,5 - 2,7$

FARBE: grün, schwarz, bräunlich, grau, bläulich

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tonnenförmig, säulig; XX selten deutlich

Aggregatform: blätterig, schuppig, pulverig, dicht; in Adern

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen (unelastisch biegsame Blättchen)/mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsprodukt

Antigoriotal; Sprehenstein in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: Chrysotil, Talk

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; gibt im Kölbchen Wasser ab; wird durch konzentrierte Schwefelsäure zersetzt
Quarz, Feldspat, Titanit

160 Bismutit $\text{Bi}_2[\text{O}_2/\text{CO}_3]$ tetragonal $H = 2\frac{1}{2} - 3\frac{1}{2}$
(Wismutocker) $D = 6,7 - 7,4$

FARBE: meist stroh- bis bräunlichgelb, auch blau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Matt-, Seidenglanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: kaum XX

Aggregatform: erdig, pulverig, feinfaserig, derb, krummschalig; Anflüge, Ausblühungen, Überzüge

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig brechend, uneben

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsbereich von Erzgängen

Schneeberg, Johannegeorgenstadt im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. Bi-Reaktion mit Kaliumjodid und Schwefel
Wismutglanz, Eulytin, Wolframit

161 Kalzit CaCO_3 trigonal H = 3
(Kalkspat) D = 2,6 – 2,8

FARBE: farblos, weiß; auch in verschiedenen anderen Farben

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: formenreichstes Mineral, XX stets aufgewachsen, sehr flächenreich

Aggregatform: spätig, körnig, stengelig, dicht bis erdig, kugelig und stalaktitisch

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen in drei Ebenen/muschelig, selten wahrnehmbar; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: vorwiegend hydrothermal
Erstarrungsgesteine, Umwandlungs- und Absatzgesteine
Erzgänge

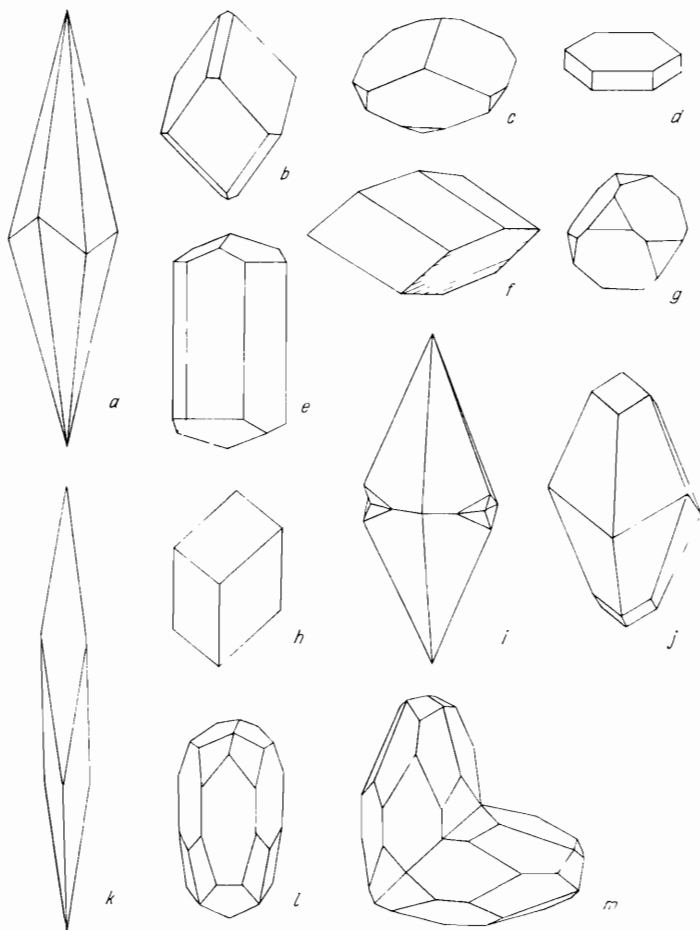
Harz (St. Andreasberg, Iberg), Erzgebirge (Freiberg, Bräunsdorf, Schneeberg), ČSSR (Příbram, Banská Štiavnica (Schemnitz)); England, Island

Ähnliche Minerale: farblose Karbonate

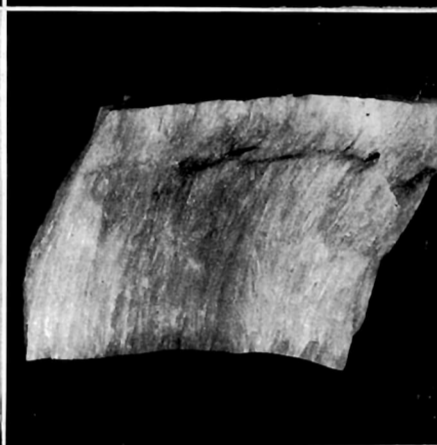
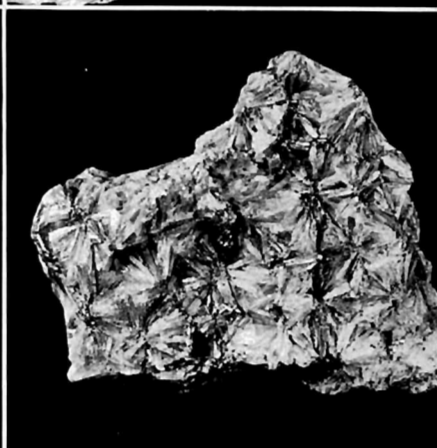
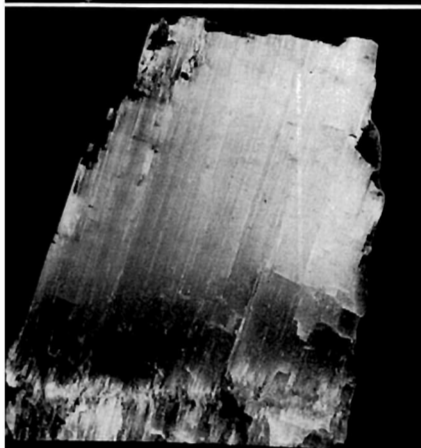
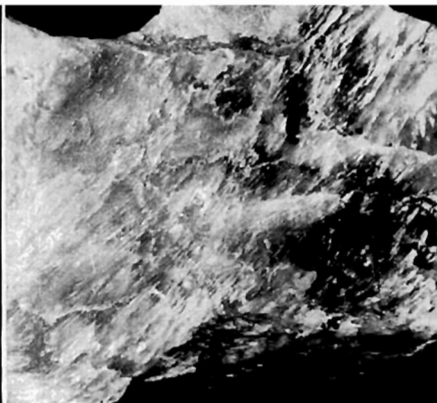
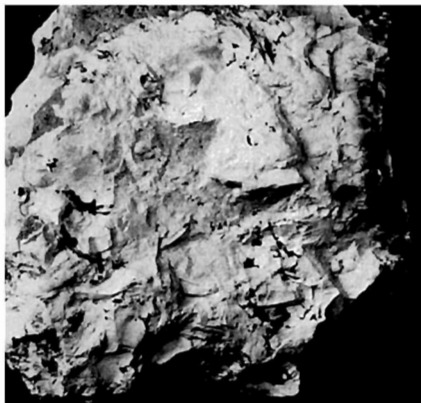
Weitere Merkmale und Begleitminerale: lebhaftes Aufbrausen in verdünnter Salzsäure; starkes Leuchten beim Glühen auf Kohle
oft am Flächenreichtum der XX erkennbar; verbreitete Gangart

Abb. Seiten 301, 302

Kalzit



Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Achtflächner)/muschelig bis uneben; spröde bis mild



112 Kaolinit (S.267)

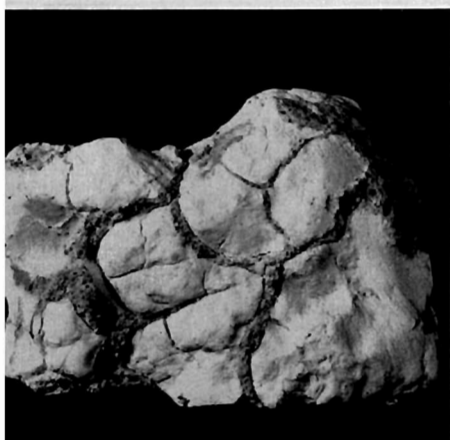
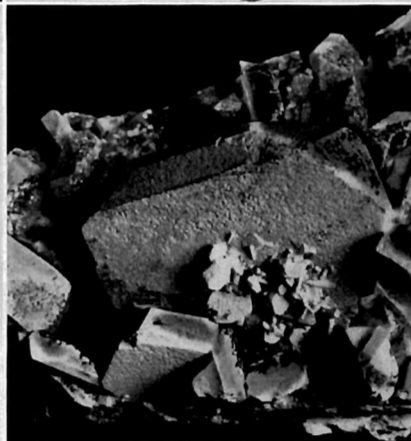
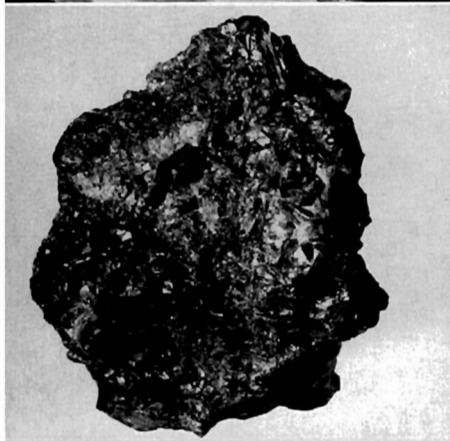
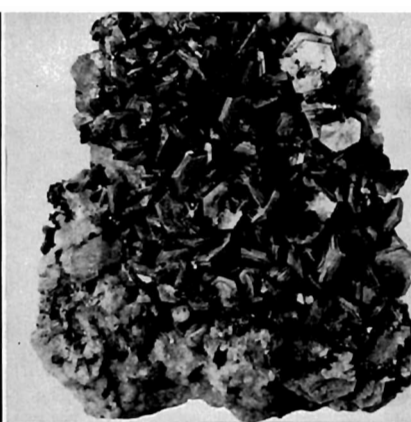
114 Ulexit (S.268)

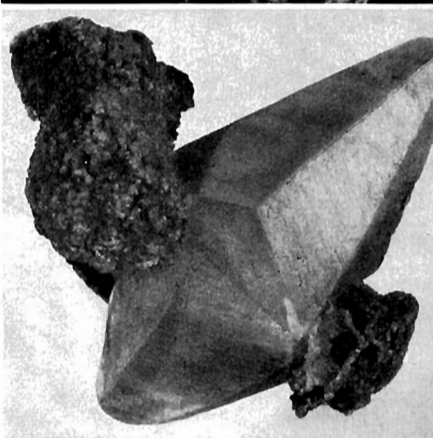
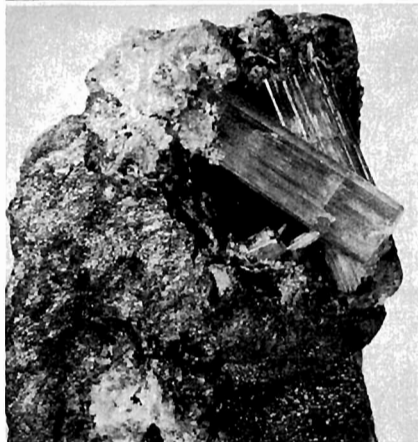
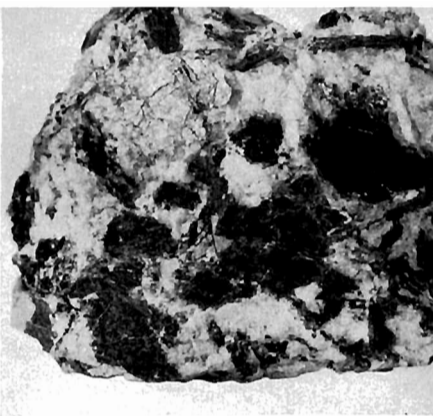
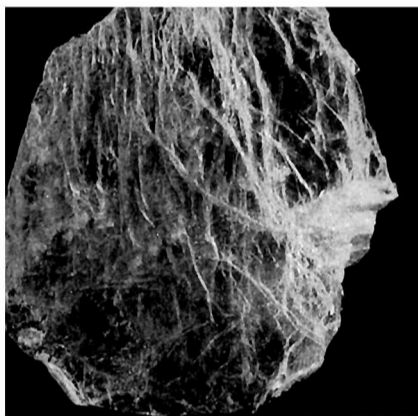
122 Gips (S.272)

113 Talk (S.267)

116 Pyrophyllit (S.269)

122 Fasergips (S.272)





150 Brucit (S. 288)

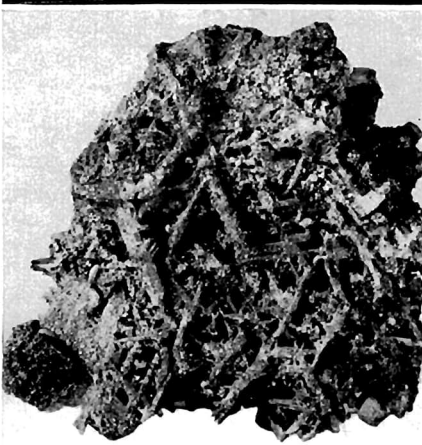
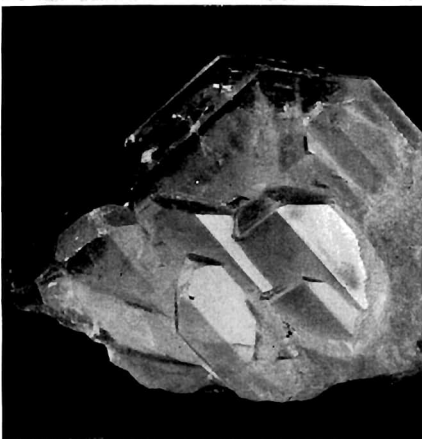
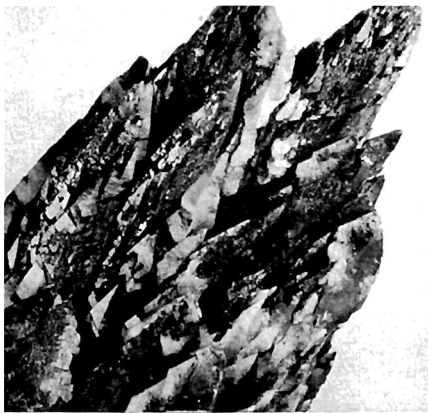
157 Phosgenit (S. 293)

161 Kalzit (S. 296)

154 Biotit im Gestein (S. 291)

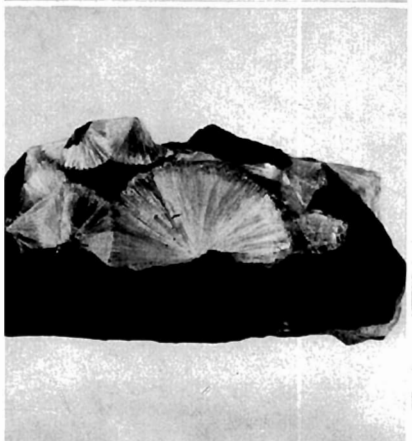
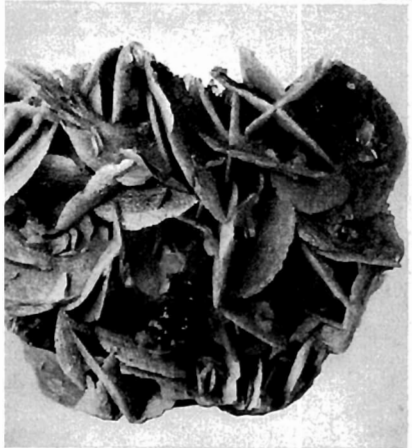
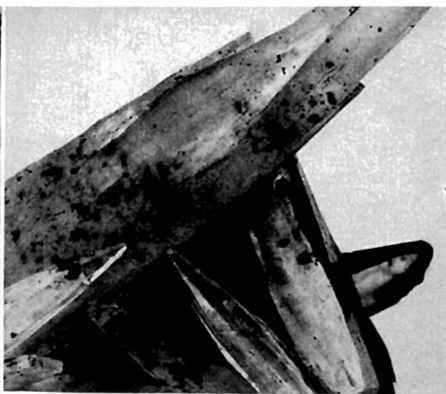
161 Kalzit (S. 296)

161 Kalzit (S. 296)



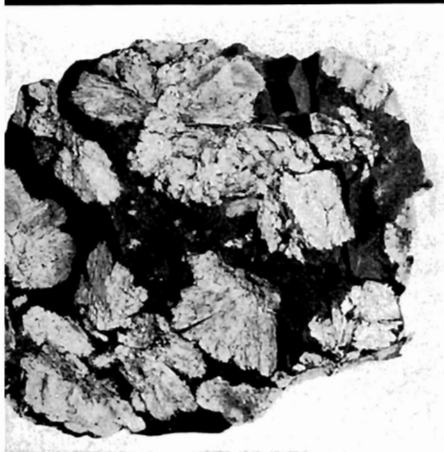
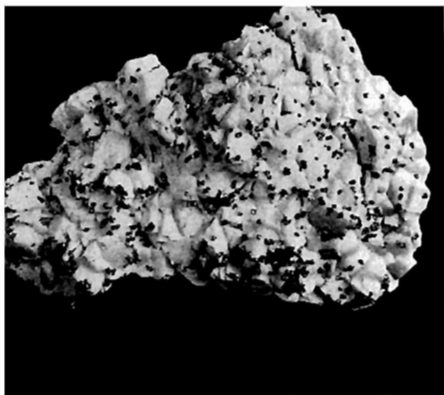
161 Kalzit (S. 296)
166 Baryt (S. 318)
166 Baryt (S. 318)

164 Vanadinit (S. 317)
166 Baryt (S. 318)
167 Zerrussit (S. 32C)



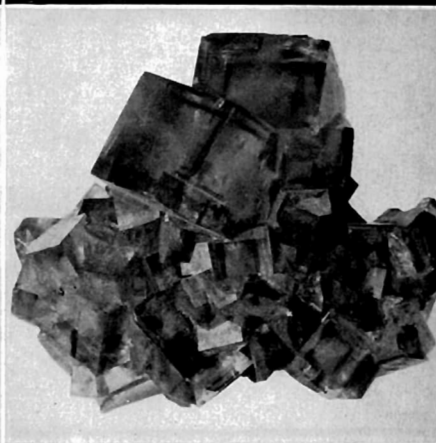
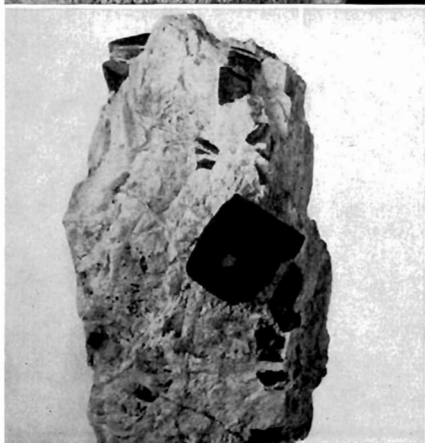
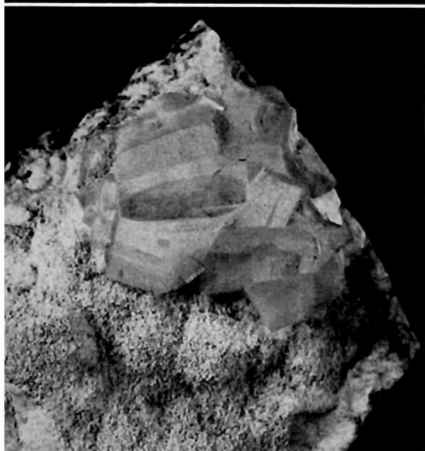
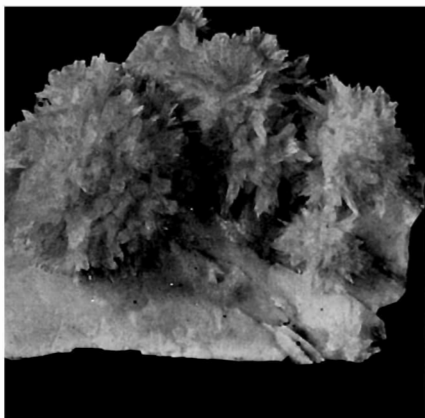
168 Zölestin (S. 320)
174 Ankerit (S. 324)
177 Wavellit (S. 326)

169 Witherit (S. 321)
176 Anhydrit (S. 325)
178 Dolomit (S. 326)



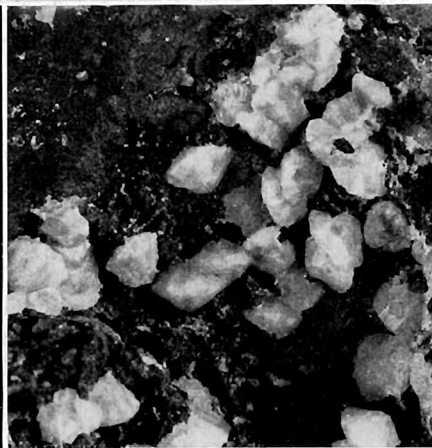
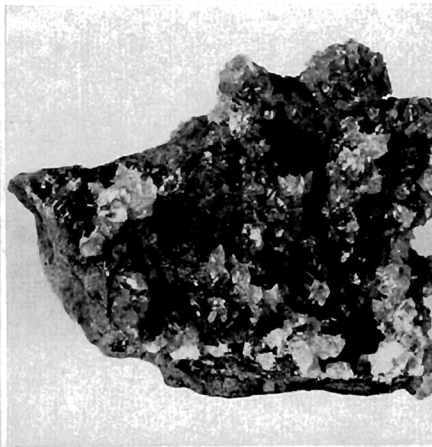
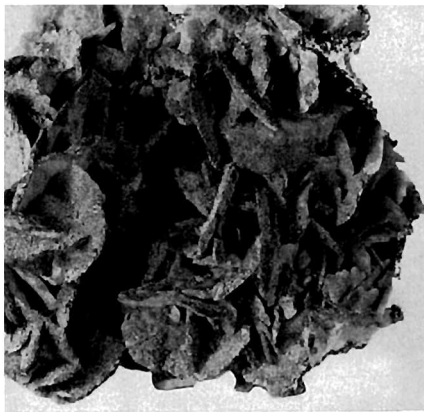
178 Dolomit u. Pyrit (S. 326)
179 Aragonit, Schaumspat (S. 327)
179 Aragonit (S. 327)

179 Aragonit (S. 327)
179 Aragonit, Eisenblüte
180 Pyromorphit (S. 328)



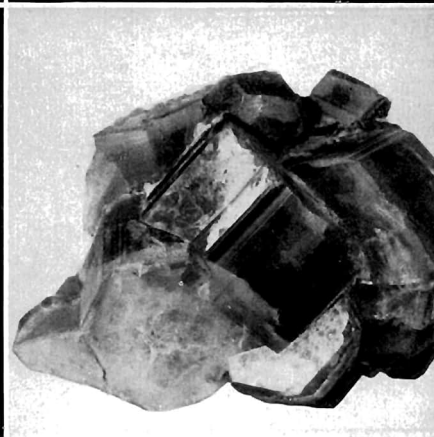
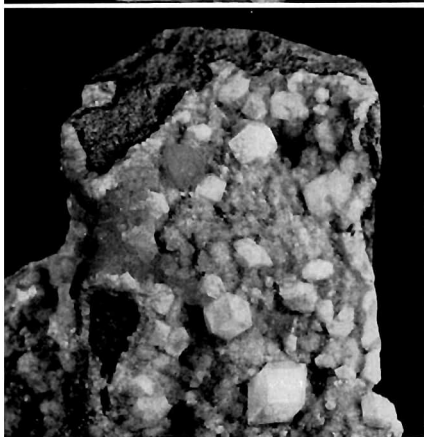
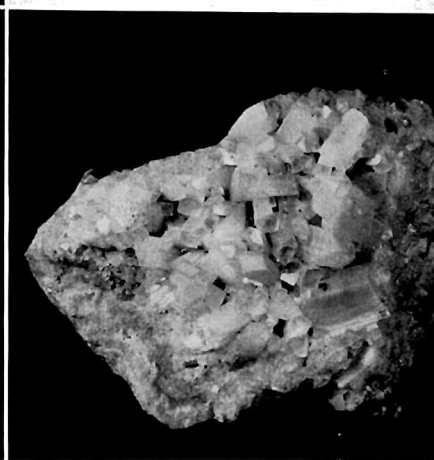
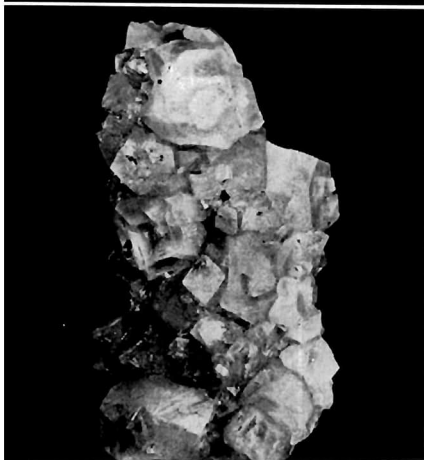
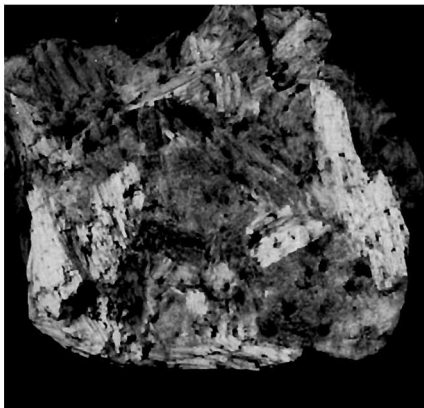
181 Strontianit (S. 329)
183 Heulandit (S. 330)
189 Fluorit (S. 335)

182 Desmin (S. 330)
183 Heulandit (S. 330)
189 Fluorit (S. 335)



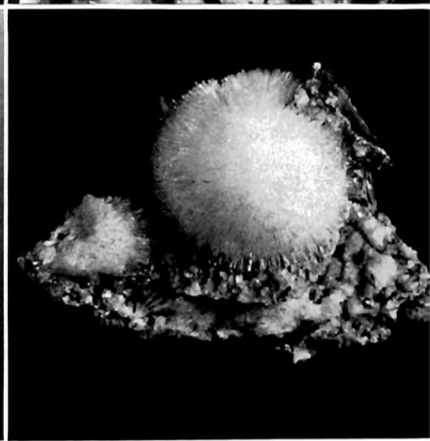
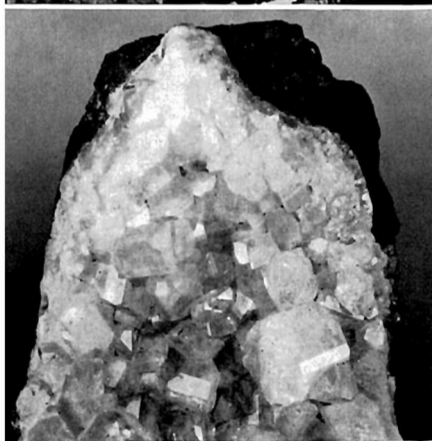
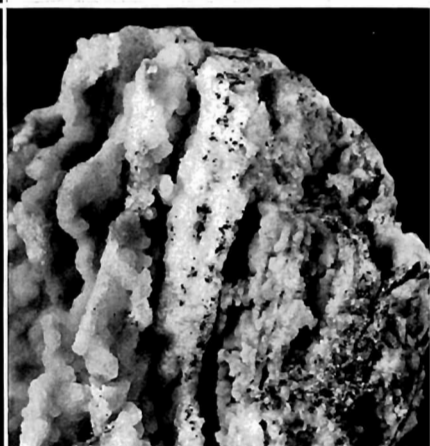
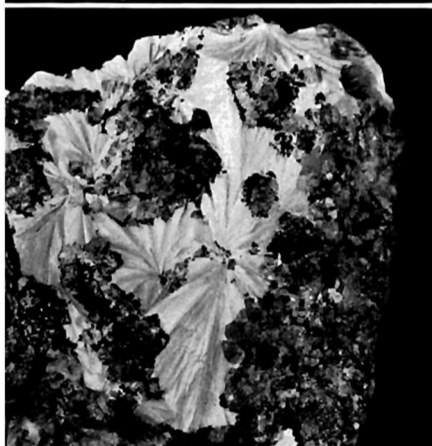
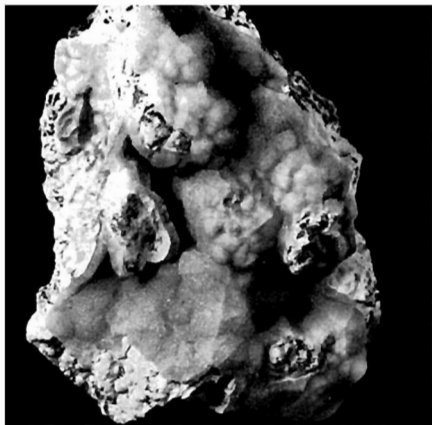
191 Siderit (S. 336)
193 Colemanit (S. 337)
196 Chabasit (S. 340)

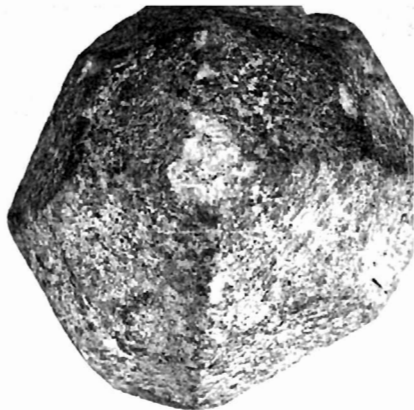
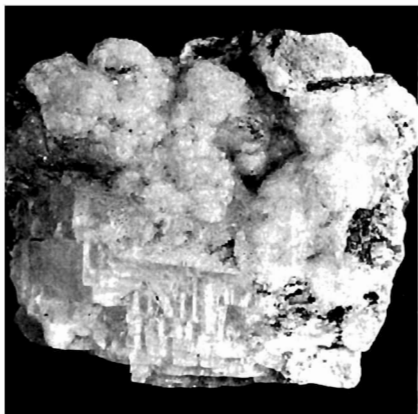
192 Magnesit (S. 337)
195 Hemimorphit (S. 339)
196 Chabasit (S. 340)



199 Wollastonit (S. 342)
 201 Apophyllit (S. 343)
 201 Apophyllit (S. 343)

200 Scheelit (S. 342)
 201 Apophyllit (S. 343)
 202 Apatit (S. 345)





211 Thomsonit (S. 350)

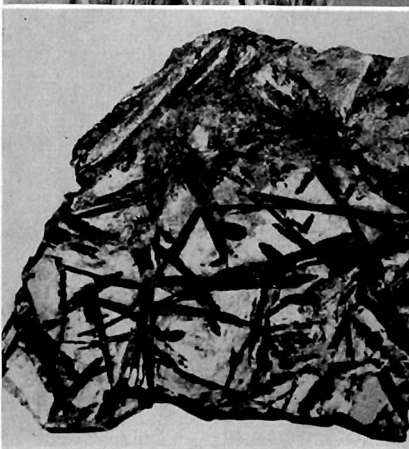
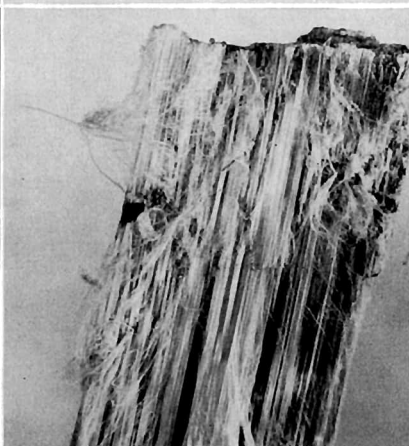
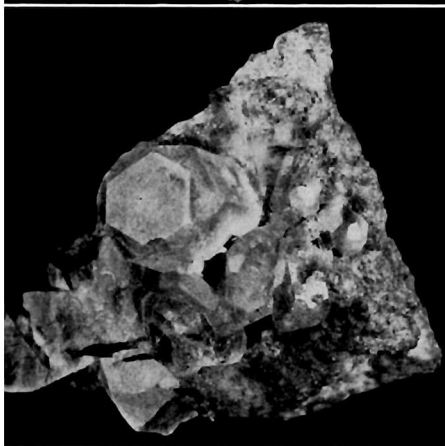
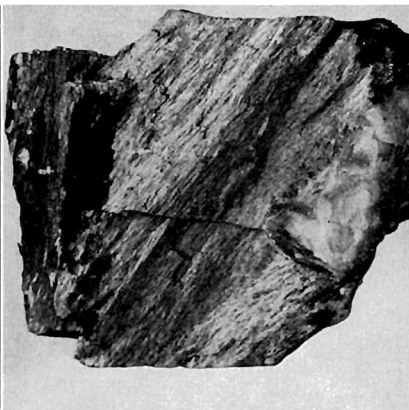
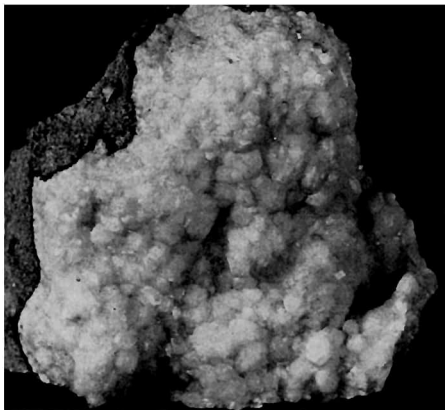
214 Augit (S. 352)

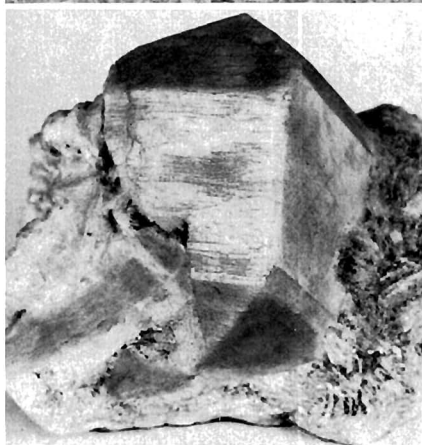
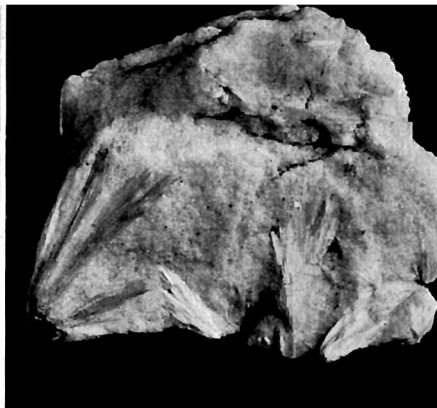
215 Titanit u. Feldspat (S. 353)

212 Leuzit (S. 351)

214 Augit (S. 352)

217 Skapolith (S. 354)





232 Anatas (S. 363)

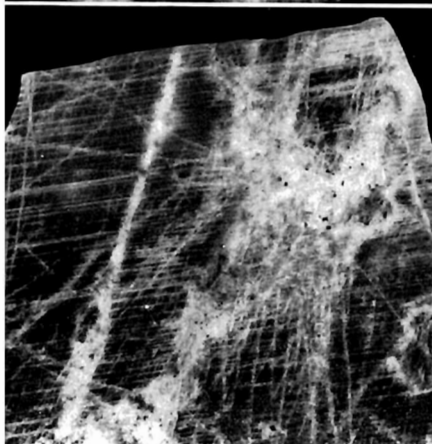
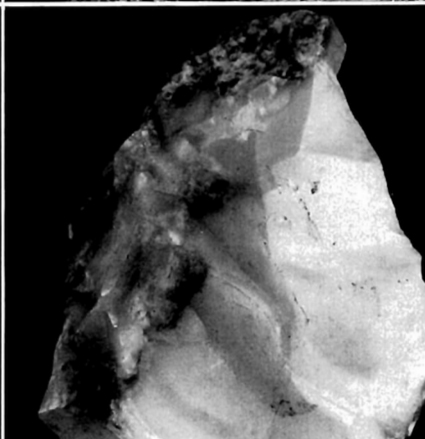
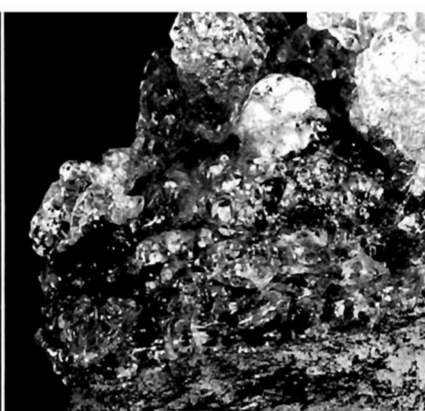
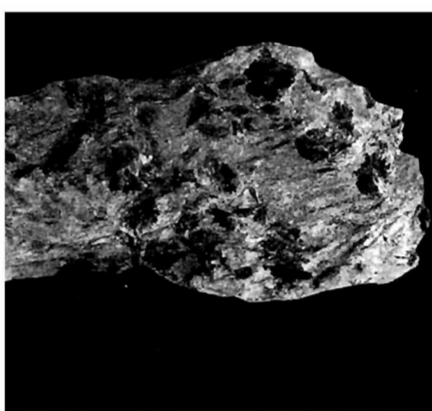
235 Mikroklin (S. 365)

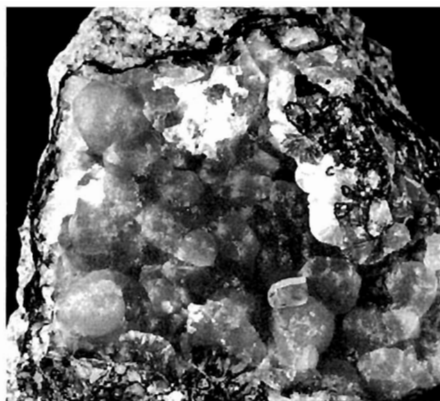
236 Orthoklas (S. 365)

233 Grammatit in Marmor (S. 364)

235 Orthoklas, Adular (S. 365)

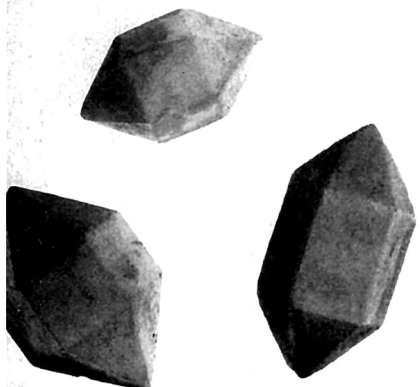
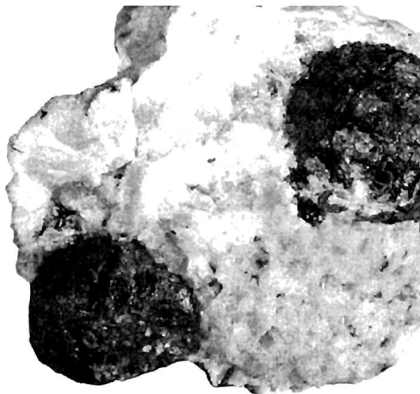
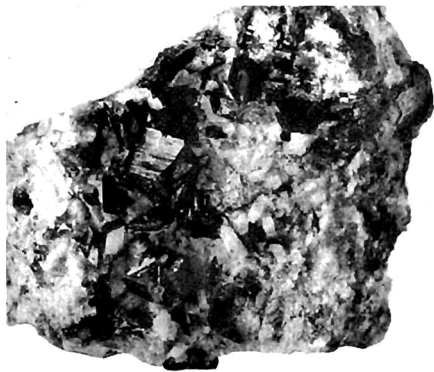
238 Zoisit (S. 366)





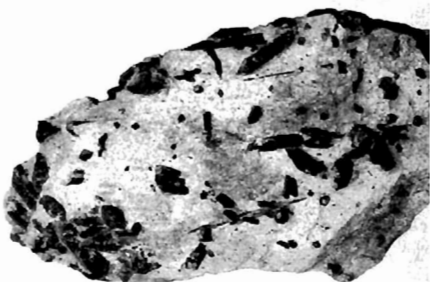
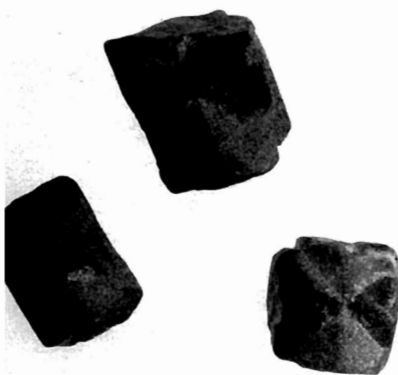
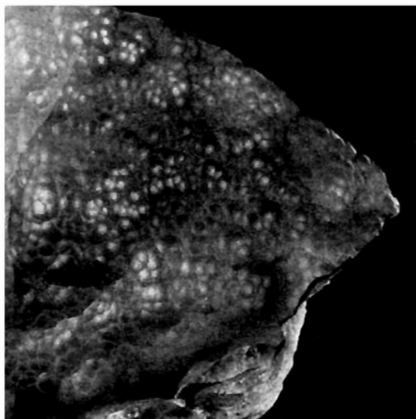
242 Albit (S. 369)
248 Vesuvian (S. 372)
252 Epidot (S. 375)

245 Prehnit (S. 370)
248 Vesuvian (S. 372)
252 Epidot (S. 375)



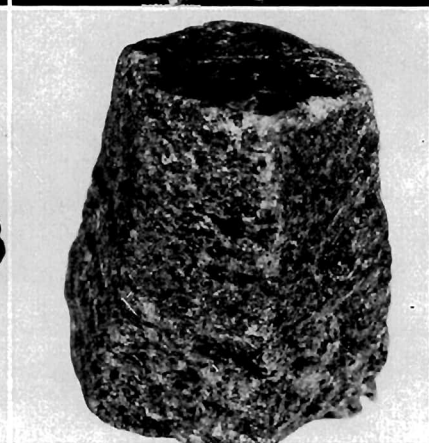
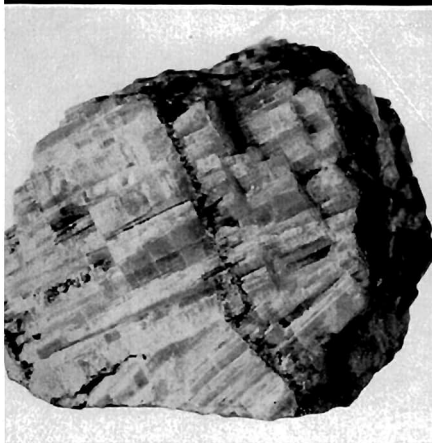
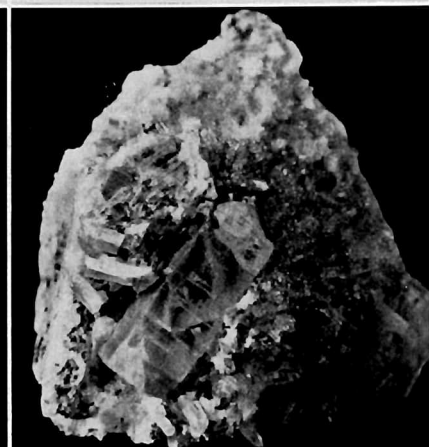
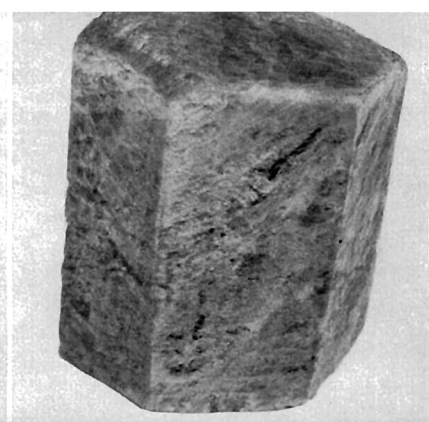
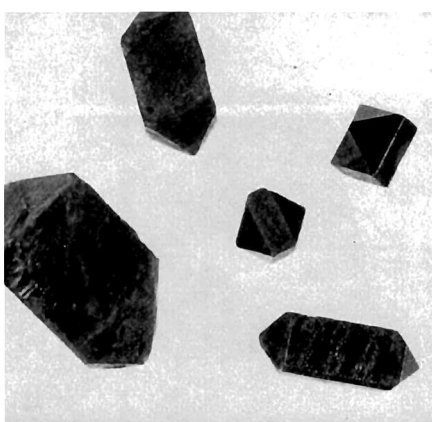
253 Axinit (S. 375)
261 Almandin (S. 380)
266 Quarz (S. 381)

260/65 Granat (S. 380)
260/65 Granat (S. 380)
266 Rauchquarz (S. 381)



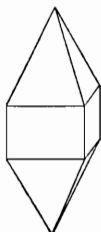
266 Chalzedon (S. 381)
269 Staurolith (S. 384)
271 Turmalin (S. 386)

268 Andalusit (S. 383)
269 Staurolith (S. 384)
271 Turmalin (S. 386)



274 Zirkon (S. 388)
276 Phenakit (S. 389)
278 Topas, Pyknot (S. 390)

275 Beryll (S. 389)
278 Topas (S. 390)
281 Korund (S. 393)



Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungsbereich von Erzgängen
Bleiberg und Schwarzenbach in Kärnten; Pörsbrunn

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Zerknistern leicht schmelzbar; auf Kohle Bleikorn; wird in Säuren zersetzt; Blaufärbung von Schwefelsäure
Kalzit, Dolomit, Siderit, Smithsonit, Zinkblende, Bleiglanz

Abb. Seite 17

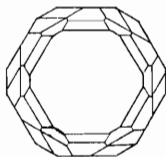
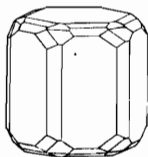
164 Vanadinit $\text{Pb}_5[\text{Cl}/(\text{VO}_4)_3]$ hexagonal $H = 3$
(Vanadinbleierz) 11% V $D = 6,8 - 7,1$

FARBE: gelb, braun, rot, oft orange

STRICH: weiß, gelblich

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz und Fettglanz/durchscheinend
undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig (sechsseitig), tonnenförmig, spitz-pyramidenförmig



Aggregatzustand: dünnstengelig, faserig, kleinnierig, traubig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Obir in Kärnten

Ähnliche Minerale: Pyromorphit, Mimetisit, Descloizit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; zerknistert beim Erhitzen; gibt im Kölbchen feines, weißes Sublimat
Wulfenit, Bleiglanz, Pyromorphit

Abb. Seiten 19, 302

165 Allophanit Aluminiumsilikat mit Al:Si ca. 1:1

amorph H = ca. 3

D = 1,9

FARBE: farblos, weiß, auch verschiedenfarbig

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: keine XX

Aggregatform: nierig, traubig, stalaktitisch, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig bis uneben; fettig anzufühlen

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsbildung

Gräfenthal bei Saalfeld; Großarl in Salzburg

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; wird von Säuren zersetzt
Tonminerale

166 Baryt Ba[SO₄] rhombisch H = 3 – 3½

(Schwerspat) 58% Ba D = 4,3 – 4,7

FARBE: weiß oder verschiedenfarbig, auch schwärzlich

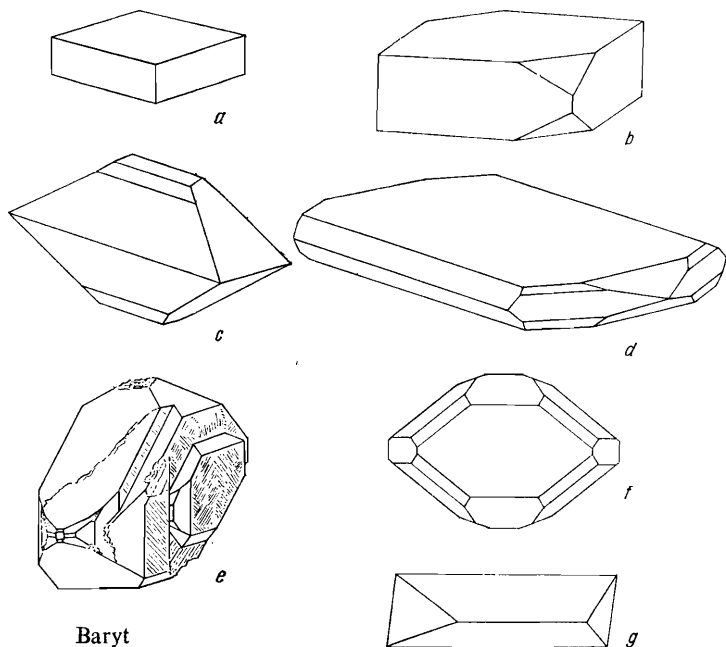
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz und Perlmuttglanz (Spaltflächen)/klar durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: dicktafelig, dünntafelig, säulig

Aggregatform: grobblättrig, körnig, spätig, faserig, dicht, schalig, nierig, knollig, fächer-, bündel-, rosettenartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach mehreren Richtungen (Quader)/muskelig; spröde



Baryt

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, sedimentär

Erzgänge, Absatzgesteine, selbständige Gänge

Harz; Erzgebirge; Thüringer Wald; Odenwald; Meggen an der Lenne

Ähnliche Minerale: Zölestin, Aragonit, Kalzit, Amblygonit, Feldspat

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. zerknisternd, sehr schwer schmelzbar, gelbgrüne Flammenfarbe

Fluorit, Siderit, Bleiglanz, Zinkblende, Argentit, Pyrargyrit, Proustit, Nickelin, Chloanthit, Kupferkies, Tetraedrit; Pyrolusit, Psilomelan, Braunit, Hausmannit, Hämatit, Limonit, Siderit

Abb. Seiten 13, 302

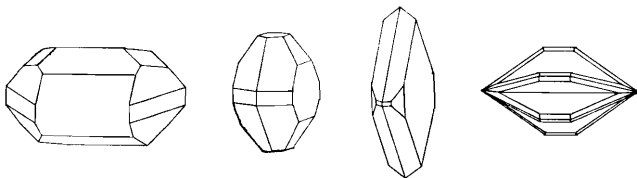
167 Zerussit PbCO_3 rhombisch $H = 3 - 3\frac{1}{2}$
 (Weißbleierz) $77\% \text{ Pb}$ $D = 6,4 - 6,6$

FARBE: farblos, weiß, grau, braun, schwarz

STRICH: weiß, grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettiger Diamantglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, pyramidenartig, z. T. sechsseitig ausgebildet



Aggregatform: büschelig, garbenförmig, stengelig, körnig, dicht, derb, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich nach zwei Richtungen/muschelig bis uneben; sehr spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge (Verwitterungsbereich)

Oberharz; Siegen; Mechernich; ČSSR (Příbram, Stříbro = Mies)

Ähnliche Minerale: Scheelit, Zölestin, Baryt, Anglesit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: zerknistert v.d.L.; auf Kohle Bleibeschlag und Bleikorn; in Salpetersäure unter Brausen löslich; Niederschlag mit Schwefelsäure

Bleiglanz, Pyromorphit, Anglesit, Malachit, Limonit, Chlorargyrit, Kalzit, Quarz

Abb. Seiten 19, 302

168 Zölestin $\text{Sr}[\text{SO}_4]$ rhombisch $H = 3 - 3\frac{1}{2}$
 $47,7\% \text{ Sr}$ $D = 3,9 - 4,0$

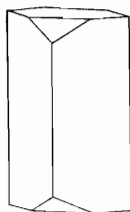
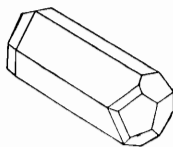
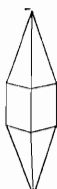
FARBE: farblos, weiß, gelblich, auch blau und blaugrau, selten rötlich oder grün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Perlmuttglanz/wasserklar bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, tafelig, selten pyramidenartig

Aggregatform: stengelig, faserig, feinkörnig, dicht, plattig, knollig derb, nierig, spätig



Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach mehreren Richtungen (Quader)/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge, in Hohlräumen von Erstarrungs- und Absatzgesteinen
Dornburg bei Jena; Rüdersdorf; Bristol (England); Agrigento (Sizilien)

Ähnliche Minerale: Baryt

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. stark zerknisternd; leicht schmelzbar; rote Flammenfarbe

Kalzit, Aragonit, Schwefel; Pb-Erze, Cu-Erze

Abb. Seiten 16, 19, 303

169 Witherit

BaCO_3

rhombisch $H = 3 - 3\frac{1}{2}$

59% Ba

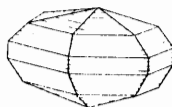
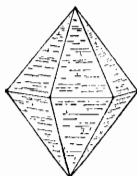
$D = 4,2 - 4,3$

FARBE: farblos, weiß, grau, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Fettglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: sechsseitige Säulen und Pyramiden



Aggregatform: strahlig, derb, faserig, nierig, kugelig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich in Richtung der Säulen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal (pneumatolytisch),

Erzgänge, Verdrängungen

Nordwestengland (Settlingstone)

Ähnliche Minerale: Zerussit, Quarz

Weitere Merkmale und Begleitminerale: aus salzsaurer Lösung bei Zugabe von Schwefelsäure weißer Niederschlag; gelblichgrüne Flammenfarbe Bleiglanz, Baryt

Abb. Seite 303

170 Polyhalit



triklin

$H = 3 - 3\frac{1}{2}$

$D = 2,7 - 2,8$

FARBE: weiß mit gelber oder grauer Tönung, oft ziegelrot

STRICH: weiß bis rötlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: XX sehr klein, unter dem Mikroskop tafelig

Aggregatform: körnig, spätig, dicht, stengelig, faserig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich nach mehreren Richtungen (würfelähnlich)/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

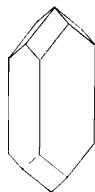
Absatzgesteine

Ischl; Vic in Lothringen; Salzlager (in großen Mengen in Kalisalz-vorkommen), Hallstadt

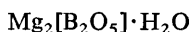
Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; Wasserabgabe im Kölbchen; in Wasser unter Gipsabscheidung löslich

Halit, Anhydrit, Gips



171 Ascharit



rhombisch

$H = 3 - 3\frac{1}{2}$

$D = 2,65$

FARBE: weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, lockere Massen Mattglanz

Kristallausbildung: keine XX

Aggregatform: feinseidig, faserig, kreideartig

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine (Salzgesteine)
Aschersleben, Staßfurt

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; unlöslich in Wasser
Borax, Halit, Carnallit

172 Pandermit $\text{Ca}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_7]$ monoklin $H = 3 - 3\frac{1}{2}$
(Priceit) $D = 2,43$

FARBE: schneeweiß, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Bruchflächen mattglänzend

Kristallausbildung: keine XX

Aggregatform: dicht, feinkörnig, kreideartig; derb, plattig, knollig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich bis unvollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine
Panderma am Marmarameer (Türkei)

Ähnliche Minerale: Ulexit, Colemanit, Datolith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Wasserabgabe im Kölbchen; Borsäuremethylester; grüne Flammenfarbe
Ton, Gips

173 Kieserit $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 3\frac{1}{2}$
14,6% Mg $D = 2,6$

FARBE: farblos, weiß, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig oder trübe

Kristallausbildung: XX selten, pyramidenförmig

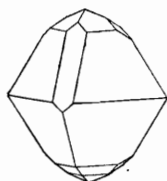
Aggregatform: fein- bis grobkörnig eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine (Salzgesteine)
Hallstadt, Westeregeln, Wathlingen
und viele Salzlagerstätten

Ähnliche Minerale: Epsomit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; mit Kobaltnitratlösung gegläut wird der Rückstand fleischrot; Wasserabgabe im Kölbchen; langsam, aber völlig in Wasser löslich
Sylvin, Halit



174 Ankerit	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$	trigonal	$H = 3\frac{1}{2}$
(Braunspat)			$D = 2,9 - 3,8$

FARBE: gelblichweiß, grau und in verschiedenen Farbtönen

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: flachgedrückte Würfel (in der Raumdiagonale gestaucht);
Flächen oft gekrümmt

Aggregatform: körnig, sattelförmig, spätig bis dicht

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (deformierte Würfel)/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Erzgänge, Umwandlungsgesteine
Freiberg; Erzberg in Steiermark

Ähnliche Minerale: Siderit, Dolomit, Magnesit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in heißer Salzsäure unter Aufbrausen löslich

Begleitminerale: Siderit, Bleiglanz, Zinkblende, Quarz

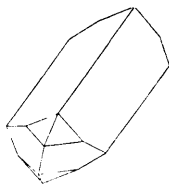
Abb. Seite 303

175 Adamin	$\text{Zn}_2[\text{OH}/\text{AsO}_4]$	rhombisch	$H = 3\frac{1}{2}$
			$D = 4,3 - 4,5$

FARBE: gelb, grün, violett bis rosa

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend



Kristallausbildung: säulig, nadelig, pyramidenartig; XX sehr klein

Aggregatform: strahlig, körnig, derb; Krusten, Drusen

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Blättchen)/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungszone von Erzgängen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzend; As-Geruch;

Zn-Beschlag; in Säuren löslich

Smithsonit, Azurit, Limonit, Quarz, Hemimorphit

Abb. Seite 16

176 Anhydrit

$\text{Ca}[\text{SO}_4]$

rhombisch

H = 3 – 4

29% Ca

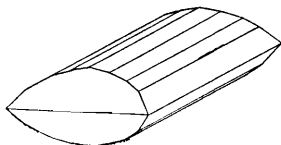
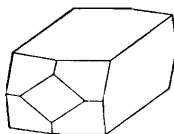
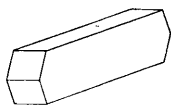
D = 2,8 – 3,0

FARBE: farblos oder weiß, mit blauer, grauer, rötlicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Perlmutt- oder Glasglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: würfelig, tafelig, kurzsäulig, dicknadelig



Aggregatform: körnig, stengelig, faserig, dicht, spätig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich nach mehreren Richtungen (Quader)

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal

Absatzgesteine, aus vulkanischen Dämpfen und Lösungen

Südharz; Hannover; Lauterberg u. Andreasberg (Harz); Staßfurt;

Werragebiet; Schwäbisch Hall und andernorts

Ähnliche Minerale: Kryolith, Gips, Baryt, Kalzit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schwer schmelzbar
Gips, Halit, Dolomit, Borazit, Kieserit, Kainit, Polyhalit

Abb. Seite 303

177 Wavellit $\text{Al}_3[(\text{OH})_3/(\text{PO}_4)_2] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

rhombisch $H = 3 - 4$

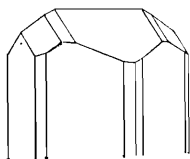
$D = 2,36$

FARBE: farblos; gewöhnlich grau, gelblich, grünlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig; XX klein und selten



Aggregatform: radialstrahlig, büschelig, kugelig, warzig, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Absatzgesteine, Umwandlungsgesteine (auf Klüften und Schichtfugen)
Langenstriegis (Sachsen); Dünsberg bei Gießen

Ähnliche Minerale: Natrolith, Hydrargillit, Prehnit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: gibt im Kölbchen viel Wasser ab; in Salzsäure beim Erhitzen löslich; mit Kobaltnitratlösung geglüht Blaufärbung
Hämatit, Limonit, Pyrolusit

Abb. Seiten 15, 303

178 Dolomit



trigonal

$H = 3\frac{1}{2} - 4$

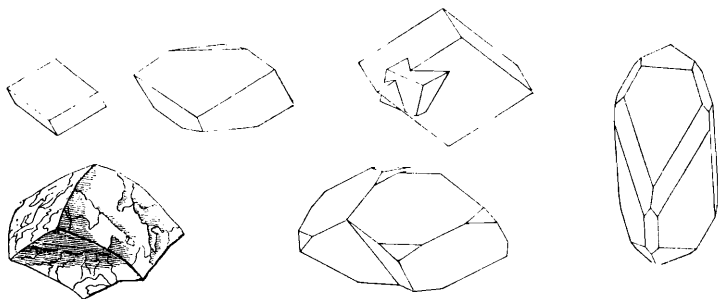
13% Mg

$D = 2,8 - 2,9$

FARBE: grauweiß, mit gelblichem, bräunlichem oder grünlichem Ton

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/wasserhell bis durchscheinend



Kristallausbildung: stark nach der Raumdiagonalen verzernte Würfel

Aggregatform: sattelförmige Aggregate, grob- bis feinkörnig, spätig bis dicht, zuckerkörnig, zellig, porig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach drei Richtungen/splittrig bis muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal

Absatzgesteine, Umwandlungsgesteine, Erzgänge

Pfisch in den italienischen Alpen (XX); gesteinsbildend in fast allen Systemen der Erdgeschichte

Ähnliche Minerale: Kalzit, Magnesit, Chabasit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; von warmer verdünnter Säure leicht angreifbar

Tremolit, Wollastonit, Bornit, Pyrit, Realgar; Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kalzit, Baryt, Gips, Anhydrit; Chlorit, Talk

Abb. Seiten 303, 304

179 Aragonit

CaCO_3

rhombisch

H = $3\frac{1}{2}$ – 4

D = 2,9 – 3

FARBE: weiß bis gelblichweiß, seltener hellgrün, violett, grau oder farblos

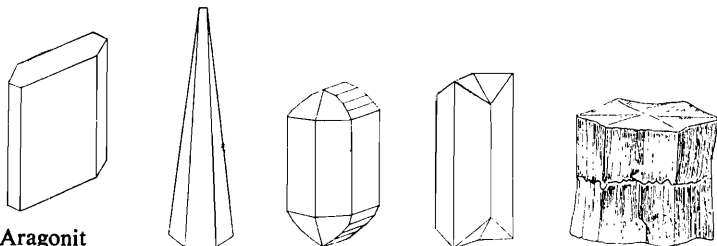
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Bruchflächen Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: dicktaflig, säulig (sechseitig), stengelig, spießig, nadelig; XX ein- und aufgewachsen

Aggregatform: radialstrahlig, stalaktitisch, korallenartig, konzentrisch-schalig, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig bis uneben; spröde



Aragonit

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erstarrungsgesteine, Umwandlungsgesteine (Verdrängungen), Absatzgesteine

Blaue Kuppe bei Eschwege; Sasbach am Kaiserstuhl; Kamsdorf in Thüringen; Alpen (Erzberg, Hüttenberg); ČSSR: Karlovy Vary (Karlsbad), Hořenec (Horschenz)

Ähnliche Minerale: Kalzit, Strontianit, Zölestin, Baryt, Natrolith, Topas

Weitere Merkmale und Begleitminerale: in kalter, verdünnter Säure heftiges Aufbrausen; Aragonitpulver färbt sich beim Kochen in Kobaltnitratlösung violett und läßt sich dadurch vom Kalzit unterscheiden

Chabasit, Natrolith, Harmotom, Siderit, Limonit, Kupferkies, Dolomit

Abb. Seiten 13, 304

180 Pyromorphit $\text{Pb}_5[\text{Cl}/(\text{PO}_4)_3]$ hexagonal $H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Braunbleierz) $76\% \text{ Pb}$ $D = 6,7 - 7,0$

FARBE: grün, braun, gelb, selten rot oder orange gelb

STRICH: weiß bis gelblichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamant- oder Fettglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, tonnenförmig, dicktafelig, pyramidenförmig; XX aufgewachsen

Aggregatform: dicht, kurzstrahlig, traubig, nierig, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig, uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

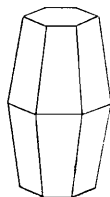
Verwitterungszone von Erzgängen

Clausthal, Johanngeorgenstadt, Freiberg; Ems;

Holzappel, Wissen an der Sieg; Horhausen,

Badenweiler und Hofgrund in Baden

Ähnliche Minerale: Mimetisit



Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzend; mit Soda Bleikorn; im Kölbchen weißes Bleichlorid-Sublimat; in Salpetersäure löslich

Bleiglanz Zerussit. Baryt. Quarz, Limonit

Abb. Seiten 15, 19, 304

181 Strontianit

SrCO_3

rhombisch $H = 3\frac{1}{2} - 4$

59% Sr

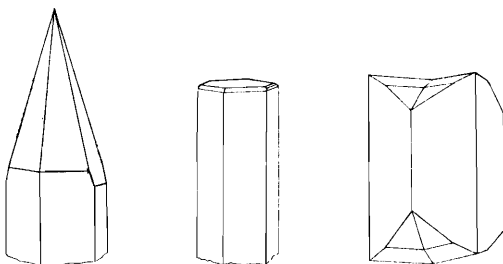
$D = 3,6 - 3,8$

FARBE: farblos, weiß, grünlich, gelb, grau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- bis Fettglanz(Bruch)/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: sechsseitige Säulen, zugespitzt, spießig, nadlig



Aggregatform: faserig-strahlig, dünnstengelig, derb, büschelig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich nach der Längserstreckung/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge, selbständige Gänge, Kluftausfüllung

Harz (Clausthal, Grund); Münsterland

Ähnliche Minerale: Aragonit, Kalzit, Zölestin, Natrolith, Baryt

Weitere Merkmale und Begleitminerale: an den Kanten schmelzend; färbt die Flamme rot; in erwärmten Säuren leicht löslich; Niederschlag mit Schwefelsäure

Kalzit, Baryt

Abb. Seite 305

182 **Desmin** $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ monoklin $H = 3\frac{1}{2} - 4$
 $D = 2,1 - 2,2$

FARBE: weiß mit gelblicher oder rötlicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Permuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, selten Einzelkristalle, Durchkreuzungszwillinge



Aggregatform: garbenförmige Bündel, kugelig, strahlig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

in Hohlräumen und auf Klüften fast aller Gesteine anzutreffen; Erzgänge

St. Andreasberg im Harz; Fassatal in den Dolomiten

Ähnliche Minerale: Prehnit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; im Kölbchen Wasserabgabe; durch Salzsäure zersetzbar

Heulandit, Chabasit, Thomsonit, Kalzit, Quarz, Feldspat, Chlorit, Epidot, Fluorit

Abb. Seiten 21, 305

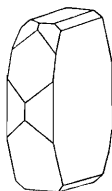
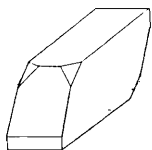
183 **Heulandit** $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
monoklin $H = 3\frac{1}{2} - 4$
 $D = 2,2$

FARBE: farblos oder weiß, gelb, ziegelrot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmutterglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, blätterig, schuppig, kurzsäulig



Aggregatform: fächerförmig, strahlig, spätig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

auf Hohlräumen von basaltischen Gesteinen, auf Klüften und Erz-
gängen.

Oberstein an der Nahe; St.Andreasberg im Harz

Ähnliche Minerale: Feldspat, Desmin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter starkem Aufblähen zu weißem Glas schmelzend; im Kölbchen Wasserabgabe; in Salzsäure unter SiO_2 -Abscheidung löslich

Desmin, Chabasit, Kalzit, Pektolith, Quarz

Abb. Seiten 16, 305

184	Alunit	$\text{KAl}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$	trigonal	$H = 3\frac{1}{2} - 4$
-----	---------------	---	----------	------------------------

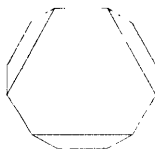
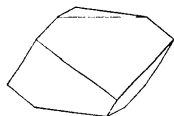
$$D = 2,6 - 2,8$$

FARBE: farblos, weiß mit rötlicher oder gelblicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmutterglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, würfelähnlich, achthflächig (oktaederähnlich)



Aggregatform: feinkörnig, erdig, dicht, faserig, schmal- und breitstengelig, derb, knollig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Blättchen)/muschelrig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
saure Ergußgesteine (Verwitterungsbereich)
Toskana; Paráđ und Muszay in Ungarn

Ähnliche Minerale: Aluminit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zerknisternd; färbt sich beim
Glühen mit CoNO_3 -Lösung blau; in Kalilauge löslich
Opal, Diaspor

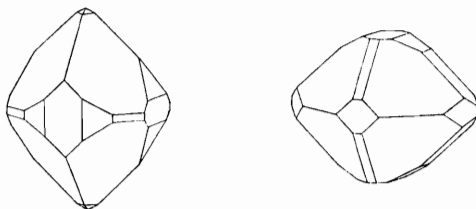
185 Skorodit $\text{Fe}[\text{AsO}_4] \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ rhombisch $H = 3\frac{1}{2} - 4$
 $D = 3,1 - 3,3$

FARBE: lauchgrün, schwarz- und blaugrün

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Harzglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, kurznadelig, tafelig, pyramidenähnlich; XX ein-
zeln und in Drusen



Aggregatform: stengelig, faserig, feinkörnig, erdig, dicht, kugelig, nierig

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/uneben bis splitterig; spröde bis mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Verwitterungszone von Erzgängen
Schwarzenberg, Johanngeorgenstadt, Schneeberg im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: -

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; magnetische
Flitter; Arsengeruch; Wasserabgabe im Kölbchen (gleichzeitig Gelb-
färbung)
Arsenkies, Pyrit, Limonit

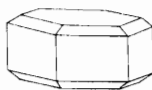
186 Mimetisit $\text{Pb}_5[\text{Cl}/(\text{AsO}_4)_3]$ hexagonal $H = 3\frac{1}{2} - 4$
(Grünbleierz) $D = 7,2$

FARBE: farblos, honig- oder wachsgelb, braun, grün

STRICH: weiß, gelblichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz und Fettglanz/durchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, spitz-pyramidenförmig, faßförmig, tafelig;
 XX aufgewachsen



Aggregatform: traubig, nierig, erdig, krustig; Überzug, Anflug

Spaltbarkeit/Bruch: wechselnd deutlich (Blättchen)/muschelig, uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
 Verwitterungszone von Erzgängen
 Johannegeorgenstadt/Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Pyromorphit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzend; Bleikorn und
 Bleibeslag; Arsengeruch; in Salpetersäure löslich
 Pyromorphit, Bleiglanz, Limonit, Psilomelan

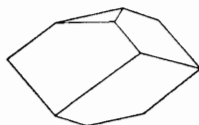
187 Rhodochrosit MnCO_3 trigonal $H = 3\frac{1}{2} - 4\frac{1}{2}$
(Manganspat) 48% Mn $D = 3,3 - 3,6$

FARBE: rosarot, grau und braun, selten farblos, angewittert schwarz

STRICH: weiß bis rötlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: würfelförmig (oft sattel- und linsenförmig gekrümmt), meist
 klein



Aggregatform: derb, körnig, spätig, dicht, radialstrahlig, traubig, glaskopffartig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Erzgänge

Harz (Schäbenholz bei Elbingerode)

Ähnliche Minerale: Kalzit, Dolomit, Ankerit, Siderit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Mn-Perlenreaktion

Bleiglanz, Zinkblende, Tetradrit, Pyrit, Limonit, Hämatit, Rhodonit,
Quarz

Abb. Seite 23

188 **Margarit** $\text{CaAl}_2[(\text{OH})_2/\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}]$

(Perlglimmer)

monoklin

$H = 3\frac{1}{2} - 5\frac{1}{2}$

$D = 2,99 - 3,08$

FARBE: perlweiß, hellgrau, rosa, gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: auf Spaltflächen Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: dünntafelig; XX sehr selten



Aggregatform: schuppig, körnig-blättrig, eingesprengt, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine (Chloritschiefer)

am Greiner in Tirol (Österreich)

Ähnliche Minerale: ähnlich gefärbte Glimmer

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Aufblähen schwer schmelzbar; durch Säuren zersetzbar

Chlorit, Korund, Diaspor, Magnetit, Rutil

GRUPPE III · Nichtmetallisch/mittelhart

189 **Fluorit**
(Flußspat)

CaF_2

kubisch

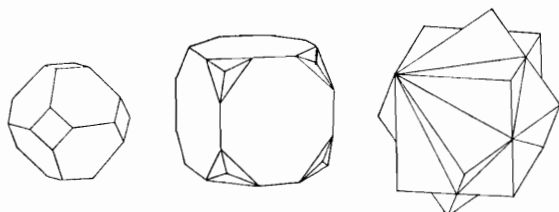
H = 4

D = 3,1 – 3,2

FARBE: selten farblos, meist in mannigfaltiger Weise gefärbt, manchmal zonar
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: „feuchter“ Glasglanz/selten wasserklar, sonst durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: Würfel, Achtfächner; XX isometrisch, aufgewachsen, Durchdringungszwillinge



Aggregatform: körnig, stengelig, dicht, erdig, derb, spätig, radialstrahlig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (Achtfächner)/splitterig, muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: in fast allen Gesteinsarten, auf fast jedem Erzgang, Pegmatite
Harz; Erzgebirge; Vogtland; Thüringer Wald

Ähnliche Minerale: Baryt, Apatit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. stark zerspritzend; phosphoreszierend; schwer schmelzbar; in Schwefelsäure Entweichen von Flußsäure (glasätzend)

Baryt, Siderit, Quarz, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, ged. Silber, Argentit, Pyrargyrit, Proustite, Nickel; Apatit, Topas, Turmalin, Zinnstein, Wolframit, Molybdänit, Arsenkies, Lithionglimmer, Scheelit, Quarz

Abb. Seiten 13, 305

190 Disthen (Kyanit)	$\text{Al}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]$	triklin	H = 4 XX- quer 6–7 D = 3,6–3,7
--------------------------------	--------------------------------------	---------	--------------------------------------

FARBE: gewöhnlich ungleichmäßig-fleckig blau; grün, gelb, farblos, schwarz

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: breitstengelig, stengelig, nadelig; XX oft quergestreift und verbogen

Aggregatform: stengelig, faserig, wirrstrahlig, blätterig-strahlig, eingesprengt

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine (besonders Glimmerschiefer)

Trusetal im Thüringer Wald; Měrunice (Meronitz) in Böhmen; Monte Campione in Tessin; Pfäfers in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: Sillimanit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Kobaltnitratlösung gegläut Blaufärbung; wird von Flußsäure kaum, von anderen Säuren nicht angegriffen

Staurolith, Andalusit, Paragonit, Granat, Hornblende, Korund, Rutil, Graphit

Abb. Seite 21

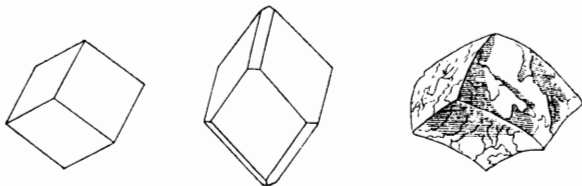
191 Siderit (Eisenspat)	FeCO_3 48% Fe	trigonal	H = 4 – 4½ D = 3,7 – 3,9
-----------------------------------	---------------------------	----------	-----------------------------

FARBE: gelblichweiß bis -braun, grau, metallische Anlauffarben

STRICH: weiß, auch braun und schwarz

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelförmig, oft sattel- und linsenförmig gekrümmt



Aggregatform: derb, spätig, grob- bis feinkörnig, radialstrahlig, nierig, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach drei Richtungen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch (-pneumatolytisch), hydrothermal
Erzgänge, Absatzgesteine
Harz (Neudorf); Alpen (Erzberg, Hüttenberg); Thüringer Wald

Ähnliche Minerale: eisenhaltiger Kalzit, Dolomit, Magnesit, Zinkblende, Ankerit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: braust nur mit heißen Säuren
Kryolith, Zinnstein, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Tetraedrit,
Baryt, Fluorit, Ankerit, Kalzit, Quarz

Abb. Seiten 9, 306

192 Magnesit	MgCO_3	trigonal	$H = 4 - 4\frac{1}{2}$
(Bitterspat)	28,8% Mg		$D = 2,9 - 3,1$

FARBE: weiß mit gelblicher oder grauer Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: würfelförmlich; XX selten,
fast immer eingewachsen

Aggregatform: körnig, stengelig, dicht,
knollig, nierig, erdig

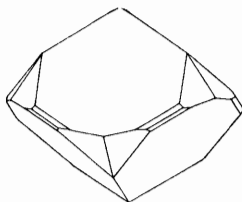
Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen
in drei Ebenen/spröde

Bildungsweise und Vorkommen: Verdrängungen
Umwandlungsgesteine
Alpen (St. Gotthard, Zillertal, Pfitschtal)

Ähnliche Minerale: farblose Karbonate, vor allem in dichter Ausbildung

Weitere Merkmale und Begleitminerale: reagiert mit Salzsäure nur im gepulver-
ten Zustand nach Erwärmen

Abb. Seite 306

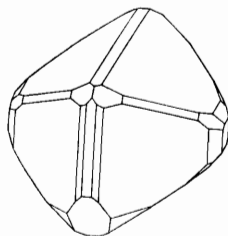
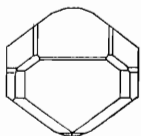
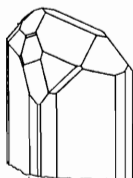


193 Colemanit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$	monoklin	$H = 4\frac{1}{2}$
			$D = 2,42$

FARBE: weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend



Kristallausbildung: dicktafelig, kurz- bis säulig, spitz pyramidenförmig; flächenreich

Aggregatform: meist derb, dicht, blättrig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine
Kalifornien

Ähnliche Minerale: Datolith, Ulexit, Pandermit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unvollkommen schmelzbar;
grüne Flammenfarbe; in heißer Salzsäure löslich, beim Erkalten Niederschlag von Borsäure
Gips, Kalzit, Zölestin, Halit, Ulexit

Abb. Seite 306

194 Xenotim

$\text{Y}[\text{PO}_4]$

tetragonal

H = 4 – 5

(Ytterspat)

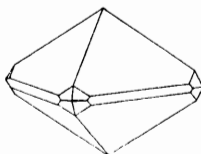
D = 4,5 – 5,1

FARBE: gelblich-braun, rot, grau, braun

STRICH: weiß bis gelblich-braun

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz, Glasglanz, Wachsglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: XX klein, viereckig säulig, pyramidenartig,
XX auf- und eingewachsen



Aggregatform: eingesprengt, derb, lose

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen (stengelig)/splitterig, uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, liquid-magmatisch
Erstarrungsgesteine, Pegmatite
Binnental und St. Gotthard (Alpen)

Ähnliche Minerale: Zirkon

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; in Säuren unlöslich
Zirkon, Monazit

195 Hemimorphit $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2/\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$

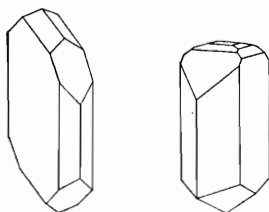
(Kieselzinkerz) 54% Zn rhombisch H = 4 – 5
D = 3,3 – 3,5

FARBE: farblos, weiß, lichtgrün, braun, grau, gelb, blau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmutterglanz/durchsichtig
bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, nadelig; XX meist klein



Aggregatform: fächerartig, fast parallel gruppiert, dünnstengelig, faserig, erdig,
kugelig, nierig, zellig, körnig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metasomatisch
Verdrängungen in Kalk und Dolomit
Altenberg bei Aachen; Raibl und Bleiberg in Kärnten

Ähnliche Minerale: Topas, Prehnit, Opal, Smithsonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; Zinkbeschlag;
Wasserabgabe im Kölbchen; in Salzsäure unter SiO_2 -Abscheidung lös-
lich
Smithsonit, Zinkblende, Bleiglanz, Wulfenit, Limonit, Quarz

Abb. Seite 306

196 **Chabasit** $(\text{Ca}, \text{Na}_2)[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

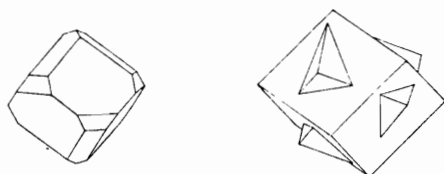
trigonal $H = 4 - 5$
 $D = 2,1$

FARBE: weiß, rötlich oder bräunlich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: isometrische Formen, charakteristische Durchdringungszwillinge, gekrümmte Kristallflächen



Aggregatform: keine Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Hohlräumen in basaltischen und anderen Erstarrungsgesteinen, auf Klüften
Oberstein an der Nahe

Ähnliche Minerale: Kalzit, Dolomit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Aufblättern schmelzend;
im Kölbchen Wasserabgabe; in Salzsäure unter SiO_2 -Abscheidung löslich
Phillipsit, Harmotom, Desmin, Heulandit, Analzim, Kalzit, Feldspat, Quarz, Epidot, Fluorit

Abb. Seite 306

197 **Triphylin** $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{PO}_4]$ rhombisch $H = 4 - 5$
 $8\% \text{LiO}_2$ $D = 3,4 - 3,6$

FARBE: grünlichgrau, bläulich, meist gefleckt; Mn-reich: braun

STRICH: grauweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, XX selten

Aggregatform: derb, grobkörnig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

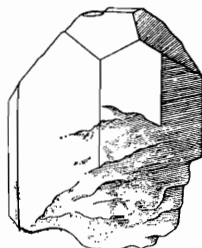
Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch

Pegmatite

Zwiesel und Hagendorf (bayr. Oberpfalz)

Ähnliche Minerale: Lithiophililit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht
schmelzbar; rote Flammenfarbe;
in Salzsäure leicht löslich
Beryll, Spodumen, Zinnstein, Amblygonit



198 Variszit

$\text{Al}[\text{PO}_4] \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

rhombisch $H = 4 - 5$

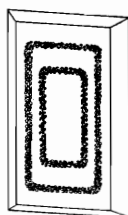
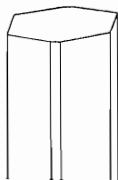
$D = 2,2 - 2,5$

FARBE: apfelgrün, auch bläulichgrün oder farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: schwacher Wachsglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: kurznagelig; XX klein



Aggregatform: nierig, krustig, angeflogen, kugelig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: gut/muschelig; spröde bis mild

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
auf Klüften in Umwandlungsgesteinen
Meißbach bei Plauen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; färbt sich purpur-
rot; in Salzsäure unlöslich

199 Wollastonit



triklin

$$H = 4\frac{1}{2} - 5$$

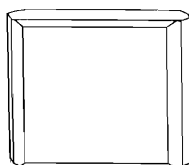
$$D = 2,8 - 2,9$$

FARBE: weiß mit grauer oder rötlicher Tönung, selten fleischrot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, grobspätige Massen Seidenglanz, dichte Aggregate seidig glänzend/durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, breitstengelig, nadelig, faserig; XX selten



Aggregatform: stengelig, radial- und parallelstrahlig, blätterig, derb, körnig, ästig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen nach zwei Richtungen/spröde

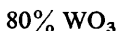
Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph
in Kalken und vulkanischen Auswürflingen
Lengefeld in Sachsen; Gengenbach im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Pektolith, Tremolit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; gelatiniert
in Säuren; fluoresziert beim Erwärmen
Granat, Vesuvian, Diopsid, Epidot, Graphit

Abb. Seite 307

200 Scheelit



tetragonal

$$H = 4\frac{1}{2} - 5$$

$$D = 5,8 - 6,2$$

FARBE: grau, grünlichgelb, braun, rot, selten farblos

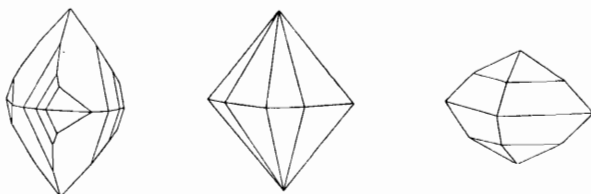
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fett-, Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: pyramidenförmig (quadratisch), tafelig, linsig

Aggregatform: dicht, körnig, derb, krustig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Achtflächner)/muscheliger, splitterig, uneben, spröde



Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, pneumatolytisch, hydrothermal
Pegmatite, Erzgänge, Umwandlungsgesteine (Verdrängungen)
Zinnwald und Altenberg im Erzgebirge (Zinnerzparagenese); Traversella
in Piemont; Schellgaden in Salzburg; Obři Důl/Krkonoše (Riesengrund
im Riesengebirge)

Ähnliche Minerale: Anglesit, Cerussit, Baryt

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schwer schmelzbar; in erwärmter
konzentrierter Schwefelsäure Blaufärbung; in Salzsäure unter Aus-
scheiden von gelbem Wolframoxid löslich
Wolframit, Zinnstein, Fluorit, Apatit, Zinnwaldit, Quarz; Molybdän-
glanz, Topas, Arsenopyrit

Abb. Seiten 19, 307

201 Apophyllit $\text{KCa}_4[\text{F}/(\text{Si}_4\text{O}_{10})_2] \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$

tetragonal $H = 4\frac{1}{2} - 5$

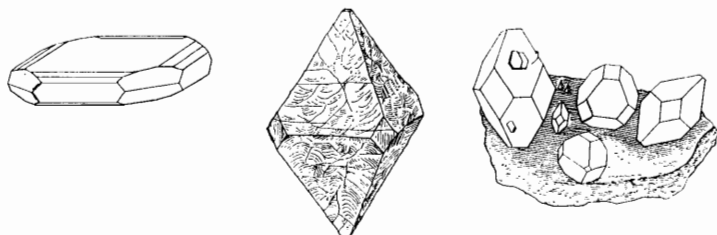
$D = 2,3 - 2,4$

FARBE: farblos, weiß, rötlich und gelblichweiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Spaltflächen haben starken Perlmuttglanz mit eigen-
tümlichem Lichtschein, sonst Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, säulig, pyramidenförmig, würfelig



Aggregatform: blätterig, dicht, porzellanartig, schalig, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Blasenräumen basischer Ergußgesteine
Siebengebirge; Sasbach am Kaiserstuhl; Haslach in Baden; St. Andreas-
berg im Harz

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. aufblättern und unter Auf-
blähen schmelzend; in Salzsäure SiO_2 -Abscheidung
Analzim, Natrolith, Kalzit

Abb. Seite 307

GRUPPE III · Nichtmetallisch/hart

202 **Apatit**

$\text{Ca}_5[\text{F}/(\text{PO}_4)_3]$

hexagonal H = 5

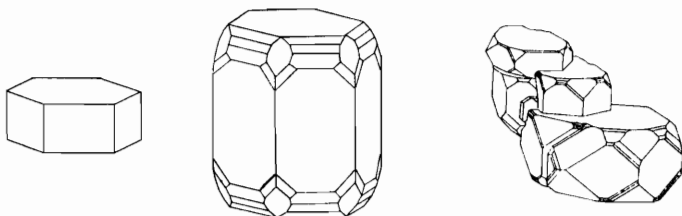
D = 3,16–3,22

FARBE: farblos und in allen Farben

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Bruchflächen Fettglanz/wasserklar oder trübe und undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig, nadelig, sechseckig



Aggregatform: faserig, strahlig, dicht, erdig, körnig, derb, nierig, traubig, knollig, kugelig, oolithisch

Spaltbarkeit/Bruch: wechselnd deutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch, hochhydrothermal, metasomatisch

Erstarrungsgesteine, Pegmatite, Absatzgesteine (Verdrängungen)
Ehrenfriedersdorf (Sachsen)

Ähnliche Minerale: Beryll, Quarz, Nephelin, Cordierit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. an den Kanten abrundbar; in Säuren löslich

Zinnstein, Wolframit, Arsenkies, Fluorit, Topas, Magnetit

Abb. Seiten 18, 307, 308

203 **Pektolith**

$\text{Ca}_2\text{NaH}[\text{Si}_3\text{O}_9]$

triklin

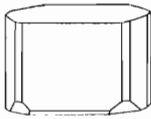
H = 5

D = 2,7–2,9

FARBE: weiß, grau, gelblichweiß, grünlichweiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Perlmutt-, Seidenglanz/durchscheinend



Kristallausbildung: säulig, stengelig, faserig, nadelig; XX sehr selten

Aggregatform: parallel- und radialstrahlig, kugelig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich nach zwei Richtungen

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Klüften und in Drusen basischer Erstarrungsgesteine
Schottland

Ähnliche Minerale: Tremolit, Wollastonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht zur Kugel schmelzend; im
Kölbchen mäßige Wasserabgabe
Laumontit, Natrolith, Heulandit, Kalzit

Abb. Seite 308

204 Smithsonit	ZnCO₃	trigonal	H = 5
(Zinkspat)	52% Zn, bis 3% Cd		D = 4,3 – 4,5

FARBE: farblos, meist gelblich, bräunlich, grünlich oder grau getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend bis trüb

Kristallausbildung: XX klein, oft gerundet

Aggregatform: derb, nierig, zellig, stalaktitisch,
schalig-gebändert, körnig, strahlig, erdig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
Erzgänge, Umwandlungsgesteine
Altenberg bei Aachen; Wiesloch in Baden; Raibl und Bleiberg in Kärnten

Ähnliche Minerale: Kalzit, Phosphorit, Dolomit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Zn-Reaktion auf Kohle; reagiert mit
warmer Säure unter CO₂-Entwicklung; Vorkommen fast nur auf dolo-
mitische Gesteine beschränkt
Zinkblende, Bleiglanz, Malachit, Azurit, Zinkblüte, Zerussit, Aurichalzit,
Limonit, Kalzit

Abb. Seite 308



205 Cancrinit $\text{Na}_6\text{Ca}_2[(\text{CO}_3)_2/(\text{AlSiO}_4)_6]$

hexagonal $H = 5 - 5\frac{1}{2}$

$D = 2,4$

FARBE: weiß, blau, grau mit gelblicher oder grünlicher Tönung, auch lichtrosa

STRICH: weiß

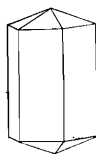
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Perlmuttglanz/durchsichtig bis trübe

Kristallausbildung: säulig, nadelig

Aggregatform: körnig, stengelig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch
in alkalireichen Erstarrungsgesteinen,
in vulkanischen Auswürflingen
Laacher See; Norwegen



Ähnliche Minerale: Nephelin, Chondroit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Aufschäumen schmelzend;
braust in Säuren schwach auf
Zeolithe, Nephelin, Kalzit

206 Datolith

$\text{CaB}[\text{OH}/\text{SiO}_4]$ monoklin

$H = 5 - 5\frac{1}{2}$

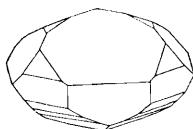
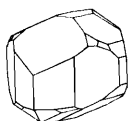
$D = 2,9 - 3,0$

FARBE: farblos, weiß, grünlich, gelblich, selten rot, violett

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Bruchflächen fettglänzend/durchsichtig
bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, dicktafelig, flächenreich



Aggregatform: körnig, feinfaserig, kleinnierig, traubig, krustig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: unebener bis muscheliger Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Klüften basischer Ergußgesteine, seltener auf Gängen im Granit
St. Andreasberg im Harz; Haslach im Schwarzwald

Ähnliche Minerale: Danburit, Colemanit, Pandermit, Ulexit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Schäumen zu klarem Glas schmelzend; hellgrüne Flammenfarbe; in Säuren gelatinierend
Prehnit, Chabasit, Epidot, Kalzit, Magnetit, Quarz

Abb. Seite 308

207 Natrolith $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

rhombisch

H = 5 – 5½

D = 2,2 – 2,5

FARBE: farblos, weiß mit gelblicher, grünlicher, rötlicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, faserige Massen Seidenglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, faserig; XX selten

Aggregatform: büschelig, radialstrahlig, kugelig, feinfaserig, derb, mehlig

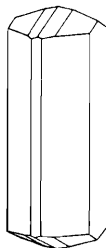
Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Blasenräumen in basaltischen Gesteinen
Hohentwiel im Hegau; Usti n. L. in der ČSSR
Fassa in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: Aragonit, Skolezit, Thomsonit, Wavellit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. äußerst leicht schmelzbar; im Kölbchen Wasserabgabe; in Salzsäure gelatinierend
Chabasit, Apophyllit, Kalzit

Abb. Seite 308



208 Monazit $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th})[\text{PO}_4]$ monoklin H = 5 – 5½

17–30% Ce und 2–24% Th

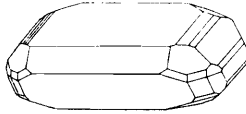
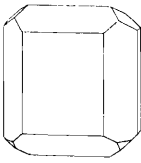
D = 4,8 – 5,5

FARBE: gelblich-braun, braun, rot, auch grün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Glas- und Fettglanz/meist nur durchscheinend

Kristallausbildung: dicktafelig, kurzadelig; insgesamt sehr verschieden, XX ein- und aufgewachsen



Aggregatform: derb, körnig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, magmatisch, sedimentär
Pegmatite, Absatzgesteine, Seifen, Klüfte
Travetsch-, Cornera-, Maderaner- und Binnental

Ähnliche Minerale: Orthit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. fast unschmelzbar; mit Schwefelsäure befeuchtet grüne Flammenfarbe; löslich in Salzsäure
Zirkon, Orthit, Sillimanit; Adular, Albit, Bergkristall, Anatas, Ilmenit; Xenotim, Magnetit, Granat

209 Triplit $(\text{Mn, Fe})_2[\text{Fe/PO}_4]$ monoklin $H = 5 - 5\frac{1}{2}$
(Eisenpecherz) $D = 3,5 - 3,9$

FARBE: kastanienbraun, fleischrot bis schwarz

STRICH: gelblichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Fettglanz/nur an den Kanten durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig; XX undeutlich

Aggregatform: grobkörnig, derb, spätig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/muschelig bis uneben; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch
Pegmatite, Zinnsteinlagerstätten
Zwiesel und Hagendorf in Bayern; Geyer im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht zu magnetischer Kugel schmelzend; löslich in Salzsäure
Apatit, Beryll, Quarz, ged. Wismut, Zinnstein, seltene Phosphate

210 Eudialyt $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Fe})_6\text{Zr}[(\text{OH}, \text{Cl})/(\text{Si}_3\text{O}_9)_2]$

trigonal $H = 5 - 5\frac{1}{2}$

$D = 2,8 - 3,0$

FARBE: rosa, rosarot in verschiedenen Tönen, rötlichbraun, braun, gelbbraun, hellgelb

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, verzerrte Würfel; XX eingewachsen

Aggregatform: körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch

Erstarrungsgesteine

Grönland; Halbinsel Kola



Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht schmelzbar; gibt im Kölbchen Wasser ab; gelatiniert mit Salzsäure
Zirkon, Sodalith, Molybdänglanz

211 Thomsonit $\text{NaCa}_2[\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20}]_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

rhombisch $H = 5 - 5\frac{1}{2}$

$D = 2,3 - 2,4$

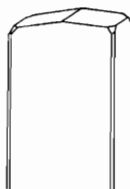
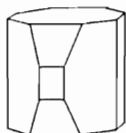
FARBE: weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamant- bis Fettglanz/durchsichtig bis trüb

Kristallausbildung: tafelig, würfelig, kurzadelig; XX klein und selten

Aggregatform: strahlig, derb, nierig, fächerförmig

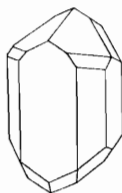


Kristallausbildung: säulig, nadelig; XX meist aufgewachsen

Aggregatform: körnig, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich in Längsrichtung

Bildungsweise und Vorkommen: magmatische Abfolge,
metamorph
alpine Klüfte, Gemensteil vieler Erstarrungs-
und Umwandlungsgesteine
Mussaalpe, Piemont, Zillertal; Breitenbrunn
im Erzgebirge



Ähnliche Minerale: Granat, gemeiner Augit, Diallag

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; nur von
Flußsäure angreifbar
Granat, Chlorit, Magnetit, Apatit, Biotit

Abb. Seite 20

214 **Augit** $(\text{Ca, Mg, Fe, Ti, Al})_2[(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$

monoklin $H = 5 - 6$

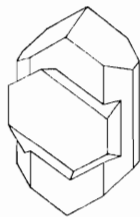
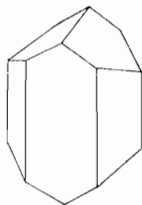
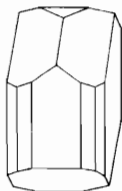
$D = 3,2 - 3,6$

FARBE: schwarz, grünlich-bis bräunlich-schwarz, seltener dunkelgrün oder braun

STRICH: graugrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/undurchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, nadelig, dicktafelig; XX ein- und aufgewachsen,
achtseitiger Querschnitt



Aggregatform: körnig, dicht, derb, strahlig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig bis uneben, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, metamorph
Erstarrungsgesteine (bevorzugt Ergußgesteine), kontaktmetamorphe
Dolomite
Kristalle vom Kaiserstuhl; České Středohoř (Böhmisches Mittelgebirge);
Lausitz

216	Sodalith	$\text{Na}_8[\text{Cl}_2/(\text{AlSiO}_4)_6]$	kubisch	H = 5–6 D = 2,3
-----	-----------------	---	---------	--------------------

FARBE: farblos, grau mit gelblicher oder bläulicher Tönung, blau

STRICH: weiß

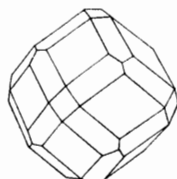
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Bruchflächen Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend, auch völlig undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX aufgewachsen

Aggregatform: selten körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, magmatisch
gesteinsbildend, Mineralgänge
Ditro in Transsilvania (Siebenbürgen);
Rieden am Laacher See

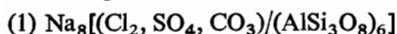


Ähnliche Minerale: Leuzit, Analzim, Hauyn, Nosean, Lasurit, Lazulith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; durch Salzsäure zersetzbar
Zirkon, Titanit, Nephelin, Ankerit, Baryt

217 Skapolith

Mischungsreihe der Endglieder Marialith (1) und Mejonit (2)



tetragonal H = 5–6

D= 2,61–2,75

FARBE: farblos, grau, tiefblau, rot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf den Spaltflächen Perlmuttglanz/
durchscheinend bis trübe

Kristallausbildung: säulig, stengelig bis nadelig, pyramidenartig begrenzt

Aggregatform: körnig, strahlig, faserig, dicht, gelegentlich spätig

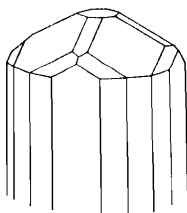
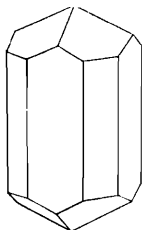
Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung/muschelig bis uneben

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph, kontaktpneumatolytisch
Verdrängungslagerstätten, Granitkontakte

Arendal in Norwegen; Tunaberg in Schweden

Ähnliche Minerale: Vesuvian, Apatit, Feldspat, Quarz

Skapolith



Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht unter Aufblähen schmelzbar; bei Ca-Reichtum in Säuren gelatinierend, bei Ca-Armut zersetzbar
Vesuvian, Granat, Epidot, Augit

Abb. Seite 309

218 Türkis $\text{CuAl}_6[(\text{OH})_2/\text{PO}_4]_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

(Kallait)

triklin

H = 5 – 6

D = 2,6 – 2,8

FARBE: himmelblau, blaugrün bis apfelgrün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Wachsglanz/meist undurchsichtig

Kristallausbildung: XX selten, sehr klein

Aggregatform: feinstkörnig, dicht, nierig, traubig; Adern, Überzüge

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/muschelig bis splitterig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

Verwitterungsprodukt in Absatz-, Umwandlungs- und Erstarrungs-
gesteinen

Ölsnitz, Reichenbach in Sachsen

Ähnliche Minerale: Lasurit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; Farbänderung
nach Braun und Schwarz; Cu-Reaktion; in Säuren löslich
Chalzedon, Limonit

219 Eulytin $\text{Bi}_4[\text{SiO}_4]_3$ kubisch $H = 5 - 6$
(Wismutblende) $D = 6,1$

FARBE: blasse gelbliche, grünliche oder bräunliche Farbtöne

STRICH: weiß, gelblichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettiger Diamantglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX klein und aufgewachsen

Aggregatform: strahlig, kleinnierig

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär

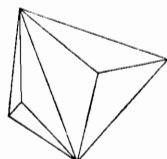
Verwitterungsbildung auf Erzgängen

Schneeberg und Johanngeorgenstadt im Erzgebirge

Ähnliche Minerale: Zinkblende

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht zur Kugel schmelzend; mit Kaliumjodid und Schwefel Wismutreaktion; in Säuren unter Abscheidung von SiO_2 löslich

Wismutocker, ged. Wismut, Chloanthit, Quarz



220 Enstatit $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ rhombisch $H = 5\frac{1}{2}$
 $D = 3,1 - 3,3$

FARBE: farblos, grauweiß mit grünlicher Tönung, auch bräunlichgrün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: dicktafelig, säulig, nadelig; XX selten

Aggregatform: körnig, spätig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich; schalige Absonderung

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, magmatisch

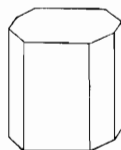
Apatitpegmatite, basische Erstarrungsgesteine

Bamle in Norwegen

Ähnliche Minerale: Apatit, Phlogopit, Hypersthen

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; nur durch Flußsäure langsam zersetzbar

Phlogopit, Hornblende, Rutil, Feldspat, Olivin, Hornblende, Biotit



221 **Bronzit** $(\text{Mg, Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ rhombisch $H = 5\frac{1}{2}$
 $D = 3,2 - 3,5$

FARBE: braun und grün in verschiedenen Tönen

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: oft seidenartiger metallischer Glanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, säulig; gute XX selten

Aggregatform: großkörnig, spätig, garbenartig, strahlig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich; schalige Absonderung

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch
 basische Erstarrungsgesteine
 Bad Harzburg im Harz

Ähnliche Minerale: Augit, Hornblende

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; nur in Flußsäure löslich
 Feldspat, Olivin, Hornblende, Serpentin

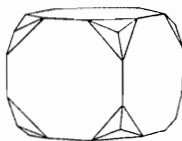
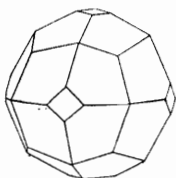
222 **Analzim** $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ kubisch $H = 5\frac{1}{2}$
 $D = 2,2 - 2,3$

FARBE: wasserhell, weiß nach grau, gelb, fleischrot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig, auch trüb

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX ein- oder in Drusen aufgewachsen



Aggregatform: körnig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger bis unebener Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal

Blasenräume in basaltischen Gesteinen, Erzgänge

St. Andreasberg im Harz; České Středohoří (Böhmisches Mittelgebirge)

Ähnliche Minerale: Leuzit, Granat, Sodalith

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; klare Perle; im

Kölbchen Wasserabgabe; durch Säuren zersetzbar

Apophyllit, Chabasit, Desmin, Thomsonit, Kalzit

Abb. Seite 310

223 Nosean $\text{Na}_8(\text{SO}_4/(\text{AlSiO}_4)_6]$ kubisch $H = 5\frac{1}{2}$

$D = 2,3 - 2,4$

FARBE: grau mit grünlicher, gelblicher oder blauer Tönung, weiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas- bis Fettglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX klein und selten

Aggregatform: körnig, derb, Aggregate nur selten

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch

basische Ergußgesteine

Laacher See

Ähnliche Minerale: Sodalith, Hauyn, Lasurit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schwer schmelzbar; durch Säuren zersetzbar

Nephelin, Leuzit, Hauyn, Feldspat, Augit

224 Anthophyllit $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{OH}/\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$

rhombisch $H = 5\frac{1}{2}$

$D = 2,9 - 3,2$

FARBE: nelkenbraun und gelblichgrau, bräunlichgrün, seltener rötlichbraun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Perlmuttglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelig, feinfaserig; XX selten

Aggregatform: breittstengelig, mitunter ungewöhnlich langfaserig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung; schalige Absonderung

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, kontaktmetasomatisch
Glimmerschiefer, Umwandlungen aus Augit
Bodenmais in Bayern; Radautal im Harz

Ähnliche Minerale: Bronzit, Hypersthen

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; Säuren unwirksam
Hornblende, Biotit, Quarz, Feldspat

225 Willemit

$\text{Zn}_2[\text{SiO}_4]$ trigonal

H = $5\frac{1}{2}$

ca. 58% Zn

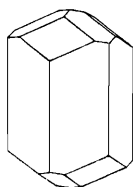
D = 4,0 – 4,2

FARBE: farblos und in allen Farben, oft grüngelb

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettiger Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, sechsseitig



Aggregatform: grob- bis feinkörnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, metamorph (spezieller Fall)
Verwitterungszone von Erzgängen
Altenberg bei Aachen

Ähnliche Minerale: Olivin, Epidot, Hornblende, Augit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. Zinkbeschlag; unschmelzbar;
in Säuren gelatinierend
Smithsonit, Limonit, Zinkit, Franklinit, Rhodonit, Kalzit

226 Hauyn $(\text{Na}, \text{Ca})_{8-4}[(\text{SO}_4)_{2-1}/(\text{AlSiO}_4)_6]$

kubisch $H = 5\frac{1}{2}$

$D = 2,4 - 2,5$

FARBE: intensiv blau, himmelblau, grünlichblau, auch gelb, rot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Bruchflächen Fettglanz/durchsichtig oder trüb

Kristallausbildung: isometrische Formen; deutliche XX sehr selten

Aggregatform: körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig bis uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch

basische Ergußgesteine

Laacher See, Niedermendig

Ähnliche Minerale: Sodalith, Nosean, Lasurit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; wird durch Salzsäure zersetzt

Nephelin, Leuzit, Nosean, Feldspat, Augit

227 Karpolith $\text{MnAl}_2[(\text{OH})_4/\text{Si}_2\text{O}_6]$

(Strohstein) rhombisch $H = 5\frac{1}{2}$

$D = 2,9$

FARBE: strohgelb, gelbgrün bis -braun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Seidenglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: nadelförmig, haarförmig; XX sehr selten

Aggregatform: strahlig, derb, büschelig, verfilzt

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch

pneumatolytisch veränderte Granite, im Gneis

Wippa im Harz; Horni Slavkov (Schlaggenwald) in Böhmen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; im Kőlbchen bei hohen Temperaturen Wasserabgabe; Mn-Perle

Quarz, Fluorit, Zinnstein

Abb. Seite 310

228 Nephelin $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ hexagonal $H = 5\frac{1}{2} - 6$
(Eläolith) $D = 2,6$

FARBE: farblos, grauweiß mit gelblicher, bräunlicher und rötlicher Tönung

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: XX-Flächen Glasglanz, Bruchflächen Fettglanz/
undurchsichtig bis wasserklar

Kristallausbildung: kurzsäulig, dicktafelig, sechseckig

Aggregatform: dicht, seltener derb

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/muschelig bis uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch

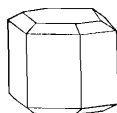
Gemengteil einiger basischer Ergußgesteine, in vulkanischen Auswürf-
lingen

Katzenbuckel im Odenwald; Löbau in Sachsen; Meiches in Hessen

Ähnliche Minerale: Apatit, Quarz, Cordierit, Skapolith, Cancrinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; intensiv gelbe Flam-
menfarbe; gelatiniert in Salzsäure; beim Eindampfen kleine NaCl-Würfel
Augit, Olivin, Feldspat

Abb. Seite 310



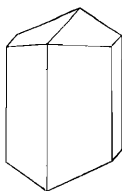
229 Aktinolith $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5[(\text{OH, F})/\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
(Nephrit, Strahlstein, Asbest) monoklin $H = 5\frac{1}{2} - 6$
 $D = 2,9 - 3,1$

FARBE: dunkelgrün, flaschengrün, graugrün, grau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Seidenglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: langsäulig, breitstengelig, linealartig, nadelig, faserig, meist
ohne Endbegrenzung



Aggregatform: radialstrahlig, parallelfaserig, verfilzt, dicht, gespinstartig, derb, grobkörnig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung (zuweilen bis in einzelne Fasern zerlegbar)/ungewöhnlich zäh, wenn filzig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
Strahlsteinschiefer, Chloritschiefer
Zillertal in Tirol

Ähnliche Minerale: Jadeit, Turmalin, Ägirin, Epidot

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. mit zunehmendem Fe-Gehalt leichter schmelzbar; durch Salzsäure wenig angegriffen
Talk, Chlorit, Serpentin

Abb. Seite 310

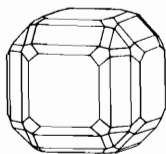
230 Perowskit CaTiO_3 rhombisch $H = 5\frac{1}{2} - 6$
 $D = 4,0$

FARBE: schwarz, rötlichbraun, orange- oder honiggelb

STRICH: grauweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz/gewöhnlich undurchsichtig, selten durchscheinend

Kristallausbildung: isometrische Formen



Aggregatform: körnig, feinkristallin, nierig, auch eingewachsen und derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/uneben, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, magmatisch
Chloritschiefer, basische Erstarrungsgesteine
Rimpfischwäng bei Zermatt; Pfätsch in den italienischen Alpen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in heisser Salpetersäure löslich
Chlorit, Talk, Kalzit, Melilith, Nephelin, Leuzit

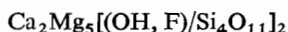
Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, in geringen Mengen auch als sedimentäre Neubildung
alpine Klüfte, in verwitterten Erstarrungsgesteinen, Sande, Tone
Travetsch, St. Gotthard, Binnental

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; unlöslich in Säuren
Rutil, Brookit, Ilmenit, Albit, Quarz

Abb. Seite 311

233 Grammatit



(Tremolit)

monoklin $H = 5\frac{1}{2} - 6$

$D = 2,9 - 3,0$

FARBE: weiß oder hellfarbig, grau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Seidenglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, stengelig, linealartig, nadelig,
haarig, faserig, meist ohne kristallographische
Endbegrenzung

Aggregatform: asbestartig, gespinstartig, strahlig, derb

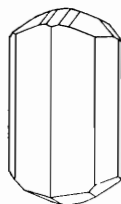
Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
kontaktmetamorph in Kalken und Dolomiten, in kristallinen Schiefern
Campolongo im Tessin

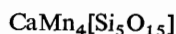
Ähnliche Minerale: Wollastonit, Zoisit, Pektolith, Diaspor

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. schmelzbar; wird in Salzsäure
langsam zersetzt
Dolomit, Kalzit

Abb. Seite 311



234 Rhodonit



triklin

$H = 5\frac{1}{2} - 6\frac{1}{2}$

42% Mn

$D = 3,4 - 3,7$

FARBE: rosa, braunrot; unfrisch schwarzfleckig

STRICH: weiß bis rötlichweiß

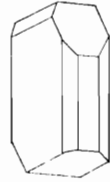
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Spaltflächen Perlmuttglanz/durchscheinend bis durchsichtig

Kristallausbildung: tafelig, kurzsäulig; XX selten

Aggregatform: derb, körnig, spätig, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, metamorph, hydrothermal
bankartig in Ton- und Kieselschiefer eingeschaltet
Erzgänge, metamorphe Manganlagerstätten



Ähnliche Minerale: Rhodochrosit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. bei mäßiger Hitze schwarz werdend und leicht schmelzbar; in Säuren unlöslich
Braunit, Hausmannit, Manganit, Franklinit, Zinkit, Kalzit

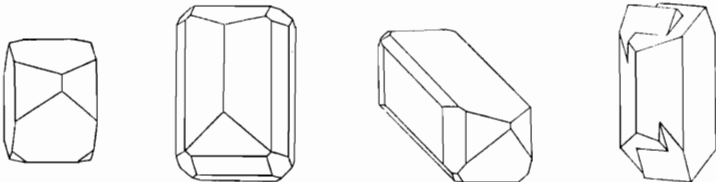
235	Mikroklin	$K[AlSi_3O_8]$	triklin	
236	Orthoklas	$K[AlSi_3O_8]$	monoklin	H = 6
237	Sanidin	$K[AlSi_3O_8]$	monoklin	D = 2,53–2,56

FARBE: farblos, weiß, erbsgelb, grünlich, oft fleisch- und bräunlichrot, selten smaragdgrün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Perlmuttglanz, Glasglanz/wasserklar durchsichtig oder trüb und undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, tafelig, häufig verzwilligt; XX auf- und eingewachsen



Aggregatform: körnig, spätig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis weniger vollkommen nach zwei aufeinander senkrechten bzw. fast senkrechten Richtungen/muschelig, splitterig, uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatische Abfolge, metamorph
wesentlicher Gemengteil vieler Gesteine, in Pegmatiten und auf Klüften allverbreitet

Ähnliche Minerale: Plagioklas

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. an den Kanten schwer abrundbar;
in Flußsäure und Alkalilauge löslich
Plagioklas, Quarz, Biotit, Muskovit

Abb. Seiten 20, 21, 311

238 Zoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$

rhombisch $H = 6$

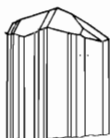
$D = 3,3 - 3,4$

FARBE: aschgrau, auch grün, rosa, rotbraun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/meist trüb und undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, breitstengelig, gekrümmt, meist ohne kristallographische Endbegrenzung



Aggregatform: stengelig, strahlig bis faserig, derb, spätig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine (kristalline Schiefer, kontaktmetamorphe Kalksilikatfelse)

Gefrees im Fichtelgebirge; Maršov (Marschendorf) in Mähren; Saualpe in Kärnten; Rauris in Salzburg; Vipiteno (Sterzing) und Val Passiria (Passeier) in Südtirol; Zermatt im Wallis

Ähnliche Minerale: Tremolit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Aufblähen zu durchsichtiger Perle schmelzend; Perle wird durch Salzsäure zersetzt
Hornblende, Granat, Vesuvian, Epidot, Disthen, Feldspat, Quarz, Fluorit, Magnetkies

Abb. Seite 311

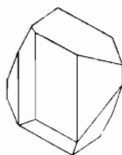
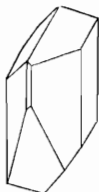
239	Amblygonit	$\text{LiAl}[(\text{F}, \text{OH})/\text{PO}_4]$	triklin	H = 6
		8–10% LiO_2		D = 3–3,1

FARBE: weiß, öfter grünlich, bläulich oder gelblich getönt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, auf Spaltflächen Perlmutterglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: XX selten



Aggregatform: grobkörnig, dicht, derb, spätig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich (feldspatähnlich)/uneben bis muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch
Pegmatite, Pneumatolyte; Zinnsteingänge
Arnsdorf und Chursdorf bei Penig

Ähnliche Minerale: Feldspate, Kalzit, Baryt, Petalit, Spodumen

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht zu Kugel schmelzend; gelbrote Flammenfarbe

Apatit, Spodumen, Lithionglimmer, Turmalin, Topas, Albit, Zinnstein

240 Chloritoid	$\text{Fe}_2\text{AlAl}_3[(\text{OH})_4/\text{O}_2/(\text{SiO}_4)_2]$		
(Ottrelith)		monoklin	H = 6
			D = 3,4 – 3,6

FARBE: dunkelgrün bis schwarz

STRICH: grünlichweiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/dünne Plättchen durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, linsenförmig, spindelförmig, sechsseitig



Aggregatform: eingesprengt, derb, blätterig, schuppig, büschelig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar, spröde

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine der obersten Zone

Prägraten in Tirol; Zermatt, Saas und Lukmanier in den Südalpen; im Vogtland

Ähnliche Minerale: Chlorit, zuweilen Biotit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; nach dem Glühen magnetisch; im Kölbchen Wasserabgabe; von Säuren wenig zersetzbar

Korund, Granat, Chlorit, Hornblende, Diaspor, Glaukophan

Abb. Seite 312

241 Opal	$\text{SiO}_2 + \text{Wasser}$	amorph	$H = 5\frac{1}{2} - 6\frac{1}{2}$ $D = 1,9 - 2,5$
-----------------	--------------------------------	--------	--

FARBE: farblos, durch Beimengungen auch gelb, grün, rot, braun und schwarz
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, poröse Massen haben Wachsglanz oder erscheinen matt/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: amorph

Aggregatform: traubig, nierig, stalaktitisch, plattig, krustig, derb; in Knollen, Konkretionen, Adern, aber auch locker, erdig und gelartig

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger; mild bis sehr spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär, hydrothermal

Zersetzungsprodukt silikatischer Gesteine; Sinterbildung heißer Quellen; Versteinerungen

Kaiserstuhl

Ähnliche Minerale: Chalzedon

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar, wird rissig; Wasserabgabe im geschlossenen Röhrchen; löslich in KOH; Sodaschmelze braust auf

Cristobalit, Chalzedon, Feuerstein

Abb. Seiten 22, 23, 312

Plagioklasreihe

triklin

H = 6 – 6½

242 **Albit**



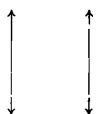
D = 2,61 – 2,76

Oligoklas

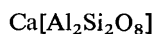
Andesin

Labrador

Bytownit



243 **Anorthit**

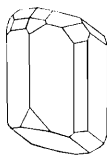
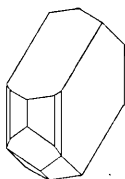
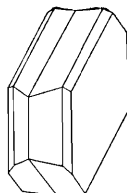
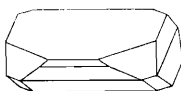
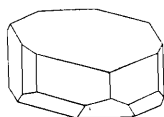


FARBE: weiß, grauweiß, grünlich, bläulich, rötlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Perlmuttglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, tafelig; Wiederholungszwillinge



Aggregatform: körnig, spätig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis weniger vollkommen in fast senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: magmatische Abfolge, metamorph gesteinsbildend, in Pegmatiten und auf Klüften allverbreitet

Ähnliche Minerale: Baryt, Amblygonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar; meist gelbe Flammenfarbe; in Säuren unterschiedliche Löslichkeit je nach Chemismus verschiedene Begleiter

Abb. Seiten 18, 312, 313

244 Ägirin $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ monoklin $H = 6 - 6\frac{1}{2}$
(Akmit) $D = 3,4 - 3,6$

FARBE: grünlichschwarz, bräunlichschwarz, dunkelgrün

STRICH: gelblichgrau bis dunkelgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Harzglanz/undurchsichtig, kantendurchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, nadelig, meist spitze Enden,
XX zuweilen sehr groß

Aggregatform: körnig, faserig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch
gesteinsbildend in manchen Erstarrungsgesteinen
und deren Pegmatiten
Ditro in Transsilvania (Siebenbürgen);
Halbinsel Kola



Ähnliche Minerale: Hornblende

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht zu schwarzer, magnetischer
Kugel schmelzend; intensiv gelbe Flammenfarbe
Arfvedsonit, Barkevikit, Leuzit, Nephelin, Sodalith

245 Prehnit $\text{Ca}_2\text{Al}_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ rhombisch $H = 6 - 6\frac{1}{2}$
 $D = 2,8 - 3,0$

FARBE: farblos, weiß, grau, leicht grün oder gelblichgrün

STRICH: weiß

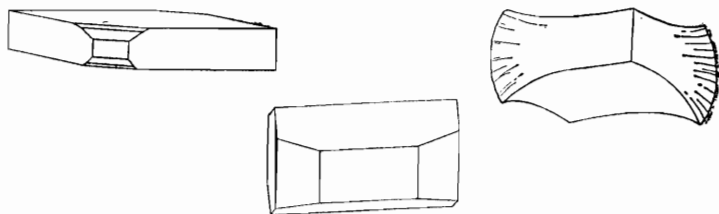
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, kurzsäulig, kurzadelig; XX sehr selten

Aggregatform: hahnenkammartig, fächerförmig, nierig, traubig, kugelig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal
auf Klüften, Gangtrümmern, in Drusen, Blasenräumen basischer Erguß-
gesteine und in kristallinen Schiefern
Bad Harzburg; Oberstein; Haslach im Schwarzwald; Nassau



Ähnliche Minerale: Beryll, Aragonit, Wavellit, Desmin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unter Aufblähen schmelzend; geschmolzen mit Salzsäure gelatinierend
Zeolithe, Epidot, Kalzit

Abb. Seiten 16, 313

246 Chondroit $\text{Mg}_5[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{SiO}_4)_2]$

monoklin $H = 6 - 6\frac{1}{2}$
 $D = 3,1 - 3,2$

FARBE: hellfarben bis rötlichbraun

STRICH: weiß

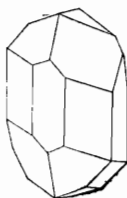
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glas-, Harzglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: kurzsäulig, meist flächenreich

Aggregatform: eingesprengt, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph
vulkanische Auswürflinge, kontaktmetamorphe
Kalke, Erzlager
Wunsiedel; Passau; Vogesen



Ähnliche Minerale: Olivin, Cancrinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar, mit Schwefelsäure
Fluorreaktion
Magnetit, Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz, Spinell, Hornblende, Vesuvian, Graphit, Biotit

247 Glaukophan $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[(\text{OH}, \text{F})/\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$

monoklin $H = 6 - 6\frac{1}{2}$

$D = 3,0 - 3,2$

FARBE: blaugrau, lavendelblau bis schwärzlichblau

STRICH: bläulichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: stengelig, faserig, selten Endflächen; XX eingewachsen

Aggregatform: stengelig, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich in Längsrichtung/uneben bis muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: Umwandlungsgesteine
Zermatt in der Schweiz

Ähnliche Minerale: Disthen

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. leicht schmelzbar; grauweißes Glas; von Säuren kaum angegriffen
Granat, Epidot, Chlorit, Biotit

248 Vesuvian komplexes Kalziumsilikat

Idokras) tetragonal $H = 6\frac{1}{2}$

$D = 3,34 - 3,44$

FARBE: gelb, grau, grün, braun, schwarz, blau, rot, rosa

STRICH: weiß

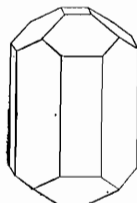
GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, selten nadelig oder tafelig

Aggregatform: körnig, dicht, strahlig, gestreift, derb

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/uneben, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph,
kontaktmetamorph
Kontaktkalkgesteine, auf Klüften
in Umwandlungsgesteinen
Auerbach an der Bergstraße; Cheb (Eger)
in Böhmen; Göpfersgrün im Fichtelgebirge



Kristallausbildung: säulig, dicktafelig, löcherige Oberfläche; XX sehr selten

Aggregatform: körnig, grobspätig, blätterig, derb, dicht

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch

Pegmatite

Insel Elba; Insel Utö; Varuträsk in Schweden

Ähnliche Minerale: Amblygonit, Feldspat

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer zu trüber Perle schmelzbar; rote Flammenfarbe; in Säuren unlöslich

Turmalin, Spodumen, Lepidolith, Arsenkies

251 **Sillimanit** $\text{Al}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]$ rhombisch $H = 6 - 7$
 $D = 3,2$

FARBE: gelblichgrau, graugrün, bräunlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: keine XX

Aggregatform: faserig, stengelig, filzig, strahlig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/uneben

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Gneis, Glimmerschiefer und andere Umwandlungsgesteine

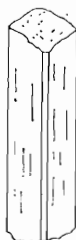
Bodenmais in Bayern; Freiberg in Sachsen

Ähnliche Minerale: Disthen

Weitere Merkmale und Begleitmerkmale: v.d.L. unschmelzbar;

mit Kobaltnitratlösung geglüht blau; in Säuren unlöslich

Cordierit, Zirkon, Granat, Chrysoberyll, Korund, Spinell



GRUPPE III · Nichtmetallisch/sehr hart

252 **Epidot** $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})\text{Al}_2[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$

monoklin $H = 6 - 7$

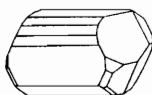
$D = 3,35 - 3,38$

FARBE: grün in verschiedenen Tönen, selten gelb, schwarz und grau

STRICH: grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Glasglanz/meist undurchsichtig

Kristallausbildung: langsäulig, breitstengelig, nadelig, flächenreich



Aggregatform: stengelig, körnig, dicht, derb, plattig, angeflogen, strahlig, büschelig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen bis deutlich/muschelig, uneben, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph, metamorph, hydrothermal
Umwandlungsgesteine (Epidotfels, kristalline Schiefer, kontaktmeta-
morphe Kalke)

Zillertal; Knappenwand im Untersulzbachtal; Zermatt

Ähnliche Minerale: Strahlstein, Turmalin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Aufblähen zu brauner,
magnetischer Schlacke schmelzend; nach dem Glühen durch Salzsäure
zersetzbar

Quarz, Adular, Albit, Axinit, Diopsid, Apatit, Granat, Vesuvian, Horn-
blende

Abb. Seiten 20, 313

253 **Axinit** $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_2[\text{OH}/\text{BO}_3/\text{Si}_4\text{O}_{12}]$

triklin $H = 6\frac{1}{2} - 7$

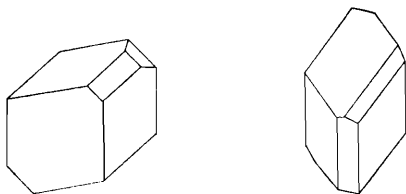
$D = 3,3$

FARBE: graubraun, rot, rosa, violett-blau, weiß, grau, gelb, grünlichgrau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: tafelig, scharfkantig, linsenförmig, keilförmig; XX aufgewachsen



Aggregatform: derb, schalig, breitstengelig, spätig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig bis uneben

Bildungsweise und Vorkommen: kontaktneumatolytisch, -metasomatisch, hydrothermal
in kontaktmetamorphen Kalken, in Graniten und ihrer Umgebung auf Klüften
Schwarzenberg in Sachsen; Treseburg, Wormke, St.Andreasberg im Harz

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. leicht unter Aufblähen zu dunkelgrüner Perle schmelzend, grüne Flammenfarbe, Schmelzperle gelatiniert in Salzsäure
Turmalin, Granat, Beryll, Magnetit, Prehnit, Quarz, Feldspat, Epidot, Kalzit

Abb. Seiten 19, 314

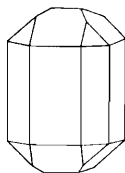
254 **Olivin** (Mg, Fe)₂[SiO₄] rhombisch H = 6½ – 7
D = 3,3 – 3,5

FARBE: ölgrün, flaschengrün, gelblich, braun, rotbraun, selten grau oder farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, tafelig; XX meist klein



Aggregatform: körnig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, kontaktmetasomatisch
gesteinsbildend in dunklen Erstarrungsgesteinen, Verdrängungen in
Kalk und Dolomit
Dreiser Weiher bei Draun in der Eifel; Kostenblatt; Neutitschein;
Forstberg bei Mayen

Ähnliche Minerale: Chrysoberyll

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. nur bei Eisenreichtum schmelz-
bar; wird von Salzsäure zersetzt
Bronzit, Diallag, Spinell, Chromdiopsid

Abb. Seite 20

255 Spodumen

$\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

monoklin

H = $6\frac{1}{2}$ – 7

5–7% Li_2O

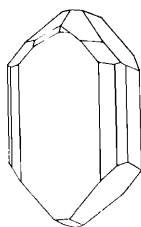
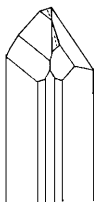
D = 3,1 – 3,2

FARBE: grauweiß mit grünlicher oder gelblicher Tönung, violett und in verschie-
denen Farben

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, breitstengelig, dicktafelig; zuweilen sehr große XX



Aggregatform: spätig, feldspatähnlich

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen in Längsrichtung spaltbar

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch-pneumatolytisch
Granitpegmatite
Insel Utö und Varuträsk in Schweden

Ähnliche Minerale: Feldspat, Skapolith, Amblygonit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unter Aufblähen leicht schmelzbar, rote Flammenfarbe
Amblygonit, Turmalin, Beryll, Zinnstein, Magnetit, Triphylin, Quarz, Albit

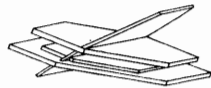
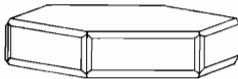
256 Tridymit SiO₂ hexagonal/rhombisch H = 6½ – 7
D = 2,27

FARBE: weiß oder grauweiß, farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: sechseckige Tafeln, fächerartige Drillinge; XX aufgewachsen



Aggregatform: schuppig, gruppiert

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger Bruch

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch-exhalativ
auf Klüften und in Hohlräumen heller Ergußgesteine
Drachenfels und Perlenhardt im Siebengebirge

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in heißer Soda-lösung löslich
Cristobalit

257 Jadeit	$\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	monoklin	$H = 6\frac{1}{2} - 7$ $D = 3,2 - 3,4$
-------------------	--------------------------------------	----------	---

FARBE: apfelgrün, weiß, grünlichblau

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/kantendurchscheinend

Kristallausbildung: XX unbekannt

Aggregatform: dicht, filzig, körnig, faserig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: ungewöhnlich zäh

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine

Neuenburger See in der Schweiz

Ähnliche Minerale: Nephrit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. zu klarer Perle schmelzend;
Schmelzperle wird durch Salzsäure zersetzt

258 **Gadolinit** $\text{Y}_2\text{FeBe}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]_2$ monoklin $H = 6\frac{1}{2} - 7$
38 % Y $D = 4 - 4,7$

FARBE: grün, braun bis schwarz

STRICH: grünlichgrau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Mattglanz, auf Bruchflächen fettartiger Glasglanz/
undurchsichtig

Kristallausbildung: kurzsäulig, dicktafelig; XX groß und selten

Aggregatform: dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, hydrothermal

Granitpegmatite, alpine Klüfte

Radautal im Harz

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. beim Erhitzen aufglimmend; in
Salzsäure gelatinierend
Quarz, Albit, Orthit, Kalifeldspat, Epidot, Titanit

259 **Cristobalit** SiO_2 tetragonal/kubisch $H = 6\frac{1}{2} - 7$
 $D = 2,2 - 2,32$

FARBE: milchweiß

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: Würfel, Achtfächner, tafelig; XX klein und selten, aufgewachsen; Zwillinge ähnlich Spinell

Aggregatform: selten krustig

Spaltbarkeit/Bruch: –

Bildungsweise und Vorkommen: magmatische Abfolge
auf Hohlräumen in hellen Ergußgesteinen
Blaue Kuppe bei Eschwege

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Kalilauge löslich
Tridymit, Opal, Chalzedon

Granatgruppe	$X_3Y_2Si_3O_{12}$	kubisch	$H = 6\frac{1}{2} - 7\frac{1}{2}$
	$X = Ca, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}$		$D = 3,5 - 4,2$
	$Y = Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ti^{3+}$		

STRICH: weiß, hellfarbig

Abarten nach dem Chemismus:

260 Pyrop: $X = Mg, Y = Al$

FARBE: blutrot, selten fast schwarz

261 Almandin: $X = Fe^{2+}, Y = Al$

FARBE: kolumbinrot, rot, braun, seltener schwarz

262 Spessartin: $X = Mn^{2+}, Y = Al$

FARBE: gelb, rotbraun

263 Grossular: $X = Ca, Y = Al$

FARBE: farblos, weiß, hellgrün, hyazinthrot (Hessonit)

264 Andradit: $X = Ca, Y = Fe^{3+}$

FARBE: braun, auch farblos, grün und schwarz

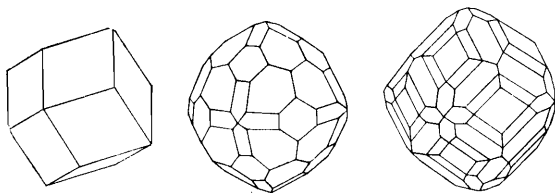
265 Uwarowit;

$X = \text{Ca}, Y = \text{Cr}^{3+}$

FARBE: dunkelsmaragdgrün

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Fettglanz, Harzglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: isometrische Formen; XX auf- und eingewachsen



Aggregatform: dicht, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: sehr vollkommen/muschelig bis splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph, gelegentlich auch magmatisch und pegmatitisch (Spessartin)

Umwandlungsgesteine (Gneise, kontaktmetamorphe Kalke), zuweilen in Erstarrungsgesteinen (Granit)

Pyrop: Zöblitz im Erzgebirge; Severní Čechy (Nordböhmen)

Almandin: im Erzgebirge verbreitet

Spessartin: Aschaffenburg im Spessart; Ilfeld im Harz

Grossular: Auerbach an der Bergstraße; St. Andreasberg im Harz

Andradit: Schwarzenberg und Breitenbrunn in Sachsen

Uwarowit: Ural

Ähnliche Minerale: Vesuvian, Zinkblende, Rubin, Zirkon

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. nur Uwarowit unschmelzbar; nach dem Glühen durch Salzsäure zersetzbar
Feldspat, Quarz, Biotit, Chlorit

Abb. Seiten 20, 314

266 **Quarz**

SiO_2

hexagonal/trigonal H = 7

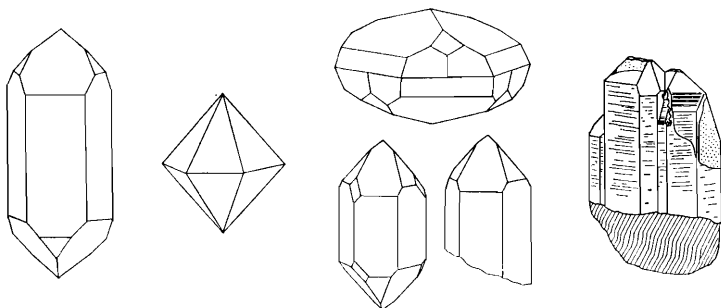
D = 2,65

FARBE: farblos, weiß und verschieden gefärbt

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Fettglanz/trübe und durchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, pyramidenförmig; XX sechsseitig; Durchwachsungszwillinge



Aggregatform: dicht, faserig, stengelig, körnig, derb, XX ein- und aufgewachsen, Gruppen, Drusen

Spaltbarkeit/Bruch: oft nicht wahrnehmbar/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: Durchläufermineral

gesteinsbildend in Erstarrungsgesteinen, (nach Feldspaten das häufigste Mineral) Umwandlungsgesteine und Absatzgesteine; Gangart in vielen Erzgängen; Pegmatite; alpine Klüfte; Hohlraumauskleidung vieler sogenannter Mandelsteine etc.

klare XX: in den Schweizer Alpen und an vielen anderen Orten; dichte Abarten: Schlottwitz, Halsbach, Gmandstein, Wechselburg in Sachsen; Idar-Oberstein an der Nahe, Schneekopf im Thüringer Wald

Ähnliche Minerale: Cordierit, Nephelin, Phenakit, Beryll, Topas, Prehnit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Flußsäure schwer, in anderen Säuren nicht löslich, mit fast jedem Mineral vergesellschaftet, dagegen nur in Ausnahmefällen mit Olivin, Nephelin, Nosean, Sodalith, Melilith

a) grobkristalline Abarten:

- farblos – Bergkristall
- gelb – Zitrin
- lichtrosarot – Rosenquarz
- violett – Amethyst
- rauchbraun – Rauchquarz
- schwarz – Morion
- weiß, grauweiß – gemeiner Quarz

b) feinkristalline Abarten:

1) *Chalzedon*

- milchigweiß – gemeiner Chalzedon
- verschiedenfarbig gebändert – Achat
- gelb bis rot – Karneol
- braun, rot durchscheinend – Sarder
- grün – Chrysopras

2) *Jaspis*

gelb, rot, braun – gemeiner Jaspis

lauchgrün – Plasma

lauchgrün mit roten Punkten – Heliotrop

graubraun bis grauschwarz – Hornstein, Feuerstein

Abb. Seiten 20, 21, 22, 23, 314, 315

267 **Kornerupin**

Borsilikat rhombisch $H = 7$

Prismatin)

$D = 3,3$

FARBE: weiß bis braungelb, grün

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: prismenförmig, säulig; XX eingewachsen

Aggregatform: derb, dünnstengelig, strahlig

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

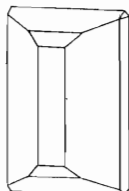
Al-reiche Gneise

Waldheim in Sachsen

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: Borreaktion

Feldspat, Biotit, Cordierit



268 **Andalusit**

$Al_2[O/SiO_4]$ rhombisch $H = 7 - 7\frac{1}{2}$

$D = 3,1 - 3,2$

FARBE: farblos, grau, gelb, braun, rosa, rot, dunkelgrün

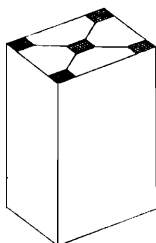
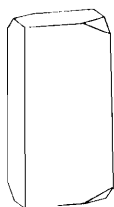
STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: meist Mattglanz, Glasglanz/meist undurchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, nadelig, kreuzförmige Pigmentanhäufung im Querbruch

Aggregatform: strahlig, stengelig, faserig, körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/uneben



Bildungsweise und Vorkommen: kontaktmetamorph, pegmatitisch
Umwandlungsgesteine (besonders in ehemaligen Absatzgesteinen), in
Pegmatiten
Wunsiedel und Neualbenreuth in Bayern; Bergen im Vogtland; Gefrees
im Fichtelgebirge

Ähnliche Minerale: Turmalin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Kobaltnitratlösung geglüht blau; in Säuren unlöslich
Granat, Turmalin, Rutil, Quarz, Sillimanit

Abb. Seite 315

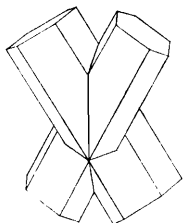
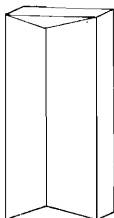
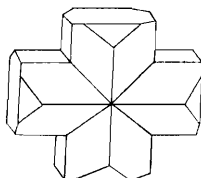
269 **Staurolith** $\text{Al}_4\text{Fe}[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4]_2$ rhombisch $H = 7 - 7\frac{1}{2}$
 $D = 3,7 - 3,8$

FARBE: rötlichbraun bis bräunlichschwarz

STRICH: farblos

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Bruchflächen Fettglanz/durchscheinend bis undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, Durchkreuzungszwillinge



Aggregatform: kaum Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
nur in Umwandlungsgesteinen
Aschaffenburg in Bayern

Ähnliche Minerale: Granat

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Säuren unlöslich
Granat, Disthen, Paragonit

Abb. Seite 315

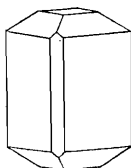
270 **Cordierit** $\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$ rhombisch $H = 7 - 7\frac{1}{2}$
 $D = 2,6 - 2,66$

FARBE: grau und bräunlichblau, violett- bis tiefblau, gelblichweiß bis bräunlich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: säulig; Durchkreuzungsdrillinge mit sechseitigem Umriß;
Kristalle eingewachsen



Aggregatform: derb, körnig

Spaltbarkeit/Bruch: wenig deutlich/muschelig bis uneben, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
Gemengteile mancher Gneise
Bodenmais in Bayern; Wechselburg in Sachsen

Ähnliche Minerale: Quarz, Nephelin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. nur an den Kanten abrundbar;
nach Glühen mit Kobaltnitratlösung Blaufärbung; von Säuren kaum
angegriffen
Granat, Turmalin, Korund, Spinell, Sillimanit

271 **Turmalin** komplexes Borsilikat trigonal $H = 7 - 7\frac{1}{2}$
 $D = 2,9 - 3,25$

FARBE: verschiedenfarbig, danach Abarten:

farblos bis zart grün – Achroit

rot – Rubellit

blau – Indigolith

grün – Verdelith

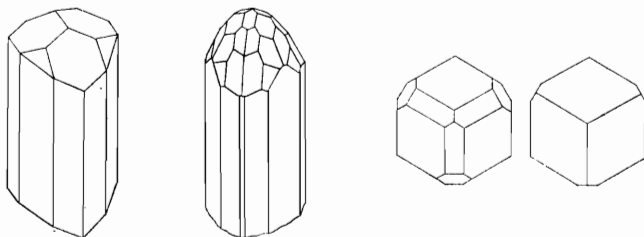
braun bis braunschwarz – Dravit

schwarz – Schörl

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, zuweilen pechartig/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig bis nadelig, oft längsgestreift



Aggregatform: radialstrahlig, stengelig, faserig, dicht, selten derb

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig/uneben, splitterig

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch

in Graniten, Pegmatiten, Drusen; auf Erzgängen und alpinen Klüften
Brockengebiet im Harz; Eibenstock in Sachsen; Amerika bei Penig in
Sachsen

Ähnliche Minerale: Epidot, Ilvait, Beryll

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar bis unschmelzbar;
wird von Säuren erst nach Glühen zersetzt; Bor-Reaktion
Granat, Beryll, Topas, Quarz, Orthoklas, Zinnstein, Fluorit, Apatit

Abb. Seiten 18, 24, 315

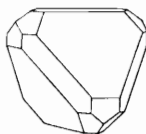
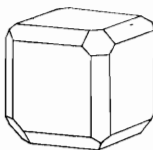
272 Borazit	$\text{Mg}_3[\text{Cl}/\text{B}_7\text{O}_{13}]$	rhombisch	$H = 7 - 7\frac{1}{2}$
(Staßfurtit = knollig)		$> 265^\circ\text{C}$ kubisch	$D = 2,9 - 3$

FARBE: farblos bis leicht bläulich oder grün, auch grau und gelblich

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: starker Glasglanz/durchsichtig bis durchscheinend, oberflächlich getrübt

Kristallausbildung: isometrisch (Sechs-, Zwölf-, Vierflächner)



Aggregatform: faserig, erdig, feinkörnig, dicht, kreideartig, knollig, derb, eingewachsen

Spaltbarkeit/Bruch: muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: sedimentär
Absatzgesteine (Salzgesteine)
Staßfurt; Westeregeln; bei Bernburg

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schwer schmelzbar; grüne Flammenfarbe, Bor-Reaktion; in Salzsäure langsam löslich
Gips, Anhydrit, Carnallit, Halit

Abb. Seite 19

273	Danburit	$\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	rhombisch	$H = 7 - 7\frac{1}{2}$ $D = 2,9 - 3,0$
-----	-----------------	--	-----------	---

FARBE: farblos, gelblichweiß, weingelb, dunkelbraun

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: fettartiger Glasglanz/durchscheinend

Kristallausbildung: säulig, XX aufgewachsen

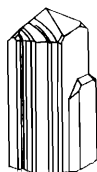
Aggregatform: derb

Spaltbarkeit/Bruch: undeutlich/uneben bis muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch, sedimentär
auf Klüften und Gängen in Umwandlungsgesteinen,
in Salzgesteinen
Piz Valatscha in Graubünden

Ähnliche Minerale: Topas, Datolith, Colemanit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. schmelzbar;
grüne Flammenfarbe;
Schmelzkugel gelatinisiert in Salzsäure
Kalzit, Dolomit, Glimmer, Chlorit, Augit, Quarz, Turmalin



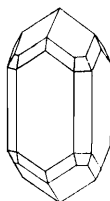
274 **Zirkon** $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ tetragonal $H = 7\frac{1}{2}$ (auch 6)
 $67\% \text{ZrO}_2$, bis $6\% \text{HfO}_2$ $D = 4,7$ (auch 3,8)

FARBE: gewöhnlich braun und braunrot, manchmal gelb, grau, grün und farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: diamantartiger Glanz, Bruchflächen Fettglanz/
manche Abarten durchsichtig bis durchscheinend, im allgemeinen trübe
und undurchsichtig

Kristallausbildung: säulig, nadelig, pyramidenartige Endbegrenzung



Aggregatform: körnig bis feinkörnig, kaum Aggregate

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: magmatisch, pegmatitisch, metamorph
Erstarrungsgesteine, Pegmatite, auf Klüften in Umwandlungsgesteinen
Siebengebirge; Niedermendig in der Eifel

Ähnliche Minerale: Vesuvian, Titanit, Zinnstein, Granat, Rutil

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Säuren unlös-
lich; von Alkalikarbonat- und Kaliumhydrogensulfatschmelze auf-
geschlossen
Hornblende, Augit, Granat, Titanit, Chlorit, Korund, Spinell

Abb. Seite 24, 316

Kristallausbildung: säulig, meist sechsseitig; XX aufgewachsen

Aggregatform: Aggregate unbekannt

Spaltbarkeit/Bruch: muscheliger bis unebener Bruch; spröde

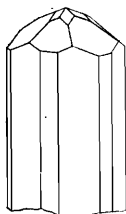
Bildungsweise und Vorkommen: hydrothermal, pneumatolytisch
auf Klüften im Granit
Framont in den Vogesen; Reckingen im Wallis

Ähnliche Minerale: Quarz, Topas

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Borax klare
Perle; in Säuren unlöslich

Beryll, Chrysoberyll, Apatit, Topas, Turmalin, Feldspat, Quarz

Abb. Seite 316



277 Gahnit
(Zinkspinnell)

ZnAl_2O_4 kubisch

H = $7\frac{1}{2}$ – 8
D = 4,0 – 4,6

FARBE: dunkelgrün, graugrün bis grünlichschwarz

STRICH: grau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/halbdurchsichtig

Kristallausbildung: achtflächig; XX eingewachsen

Aggregatform: körnig, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich (Achtflächner)/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph
Talkschiefer, Cordieritgneise, metamorphe Kalke
Bodenmais in Bayern

Ähnliche Minerale: Kupferkies, Zinkblende, Franklinit

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Soda Zn-
Beschlag; in Säuren unlöslich

Kupferkies, Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Arsenkies, Magnetkies

278 Topas

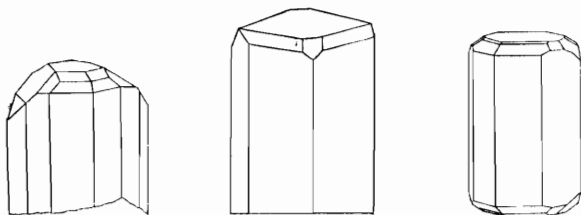
$\text{Al}_2[\text{F}_2/\text{SiO}_4]$ rhombisch

H = 8
D = 3,5 – 3,6

FARBE: farblos, hellgelb, weingelb, strohgelb, violett, grau, rosa, blau, rot

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, Perlmuttglanz auf Spaltflächen/durch-
sichtig bis durchscheinend



Kristallausbildung: säulig, flächenreich; XX auf- und eingewachsen

Aggregatform: strahlig, stengelig, dicht, derb

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen, quer zur Längserstreckung/muschelig bis uneben

Bildungsweise und Vorkommen: pneumatolytisch
an Granite und Zinnsteingänge geknüpft
Schneckenstein im Vogtland

Ähnliche Minerale: Phenakit, Korund, Aragonit, Datolith, Beryll

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; mit Phosphorsalz erhitzt: Fluor-Reaktion
Quarz, Feldspat, Zinnstein, Glimmer, Fluorit, Turmalin

Abb. Seite 23, 24, 316

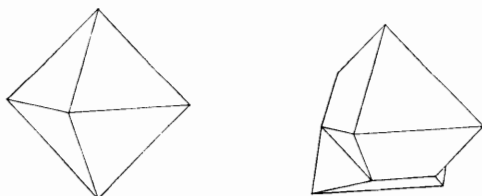
279 Spinell	MgAl_2O_4	kubisch	H = 8 (–7)
(Magnesiospinell)			D = 3,5–3,7

FARBE: in allen Farben, meist rot, selten farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis fast undurchsichtig

Kristallausbildung: Achteflächner u. a. isometrische Formen; flache Anlagerungszwillinge; XX eingewachsen oder lose



Aggregatform: abgerollt, zerbrochen

Spaltbarkeit/Bruch: unvollkommen (Achtflächner)/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: metamorph

Umwandlungsgesteine (vor allem in ehemaligen Absatzgesteinen)
Straškov (Straschkau) ČSSR; Schwarzwald; Odenwald; Vogesen

Ähnliche Minerale: Rubin, Zirkon, Granat

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Säuren unlöslich; nach Glühen mit Kobaltnitratlösung Blaufärbung
Dolomit, Granat, Zirkon, Magnetit, Kalzit, Augit, Chondroit, Biotit, Korund, Graphit, Phlogopit, Vesuvian

Abb. Seite 24

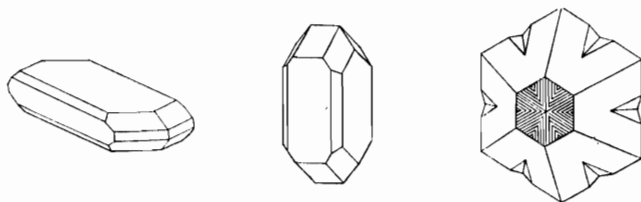
280 Chrysoberyll	Al_2BeO_4	rhombisch	$H = 8\frac{1}{2}$
(Alexandrit)	ca. 7% Be		$D = \text{ca. } 3,7$

FARBE: gelb oder grünlichgelb, selten farblos

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz, im Bruch Fettglanz/durchsichtig bis durchscheinend

Kristallausbildung: dicktafelig, kurzsäulig, pyramidenförmig; meist sechsseitig als Durchdringungszwillinge; XX eingewachsen



Aggregatform: lose Körner

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, metamorph

Pegmatite, Umwandlungsgesteine (glimmerreiche Gneise, Glimmerschiefer)

Maršov (Marschendorf) ČSSR

Ähnliche Minerale: Korund, Spinell, Olivin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v.d.L. unschmelzbar; in Säuren unlöslich, dagegen durch Alkalien und Kaliumhydrogensulfat zersetzbar
Spinell, Granat, Beryll, Phenakit, Turmalin, Sillimanit

281 **Korund**

Al_2O_3

trigonal

H = 9

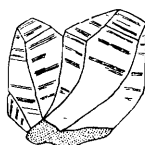
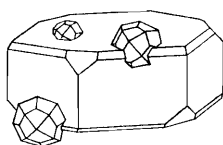
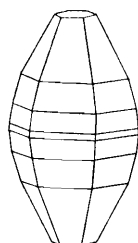
D = 3,95 – 4,1

FARBE: gewöhnl. bläulich oder gelblichgrau, auch durchsichtig in verschiedenen Farben

STRICH: weiß

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Glasglanz/durchsichtig bis undurchsichtig

Kristallausbildung: tonnenförmig, tafelig, würfelig, pyramidenartig; mitunter Streifung durch Zwillingslamellen



Aggregatform: fein- bis grobkörnig, eingewachsen, derb

Spaltbarkeit/Bruch: deutlich/muschelig, splitterig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: pegmatitisch, metamorph

Pegmatite, kristalline Schiefer, kontaktmetamorphe Kalke und Dolomite, Seifen

Campolungo im Tessin; Unkel am Rhein

Ähnliche Minerale: Smaragd, Zirkon, Spinell, Granat, Cordierit, Beryll, Apatit, Topas, Turmalin

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; unlöslich in Säuren, löslich in Kaliumhydrogensulfatschmelze

Magnetit, Chloritoid, Diaspor, Margarit, Kalzit

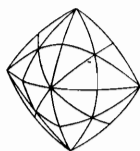
Abb. Seiten 21, 24, 316

282 **Diamant** C kubisch H = 10
Bort = Industriediamanten D = 3,52
Karbonados = koksartige, graphithaltige Diamanten

FARBE: farblos oder leicht gelblich bzw. bläulich; rötlich, braun, grünlich, grau, schwarz; selten sattrot oder sattblau

GLANZ/DURCHSICHTIGKEIT: Diamantglanz, rauhe Flächen auch mattglänzend/durchsichtig

Kristallausbildung: würfelig, acht-, zwölf-, achtundvierzigflächig; X-Flächen oft gewölbt und X-Kanten abgerundet, XX eingesprengt



Aggregatform: feinkörnig, eingewachsen, kugelig, strahlig

Spaltbarkeit/Bruch: vollkommen/muschelig; spröde

Bildungsweise und Vorkommen: liquid-magmatisch
basische Erstarrungsgesteine, Seifen
Südafrika; Brasilien; Indien; Sowjetunion

Ähnliche Minerale: –

Weitere Merkmale und Begleitminerale: v. d. L. unschmelzbar; in kleinen Splittern
v. d. L. brennbar
Olivin, Pyroxen, Serpentin; Gold, Platin, Zirkon, Zinnstein, Rutil,
Magnetit, Quarz.

Abb. Seite 24

Im *ersten Abschnitt* werden die *Erzminerale* genannt, aus denen man die chemischen Grundstoffe oder deren Verbindungen gewinnt. Nicht alle Minerale, die wichtige Elemente enthalten, sind in der Erdkruste so angereichert, daß sie im Bergbau gewonnen werden können. Unsere Liste umfaßt nur Minerale, welche eine praktische Bedeutung haben. In diesem Zusammenhang ist es gewiß von Interesse, woraus die Elemente erzeugt werden, die keine eigenen Minerale bilden. Auch darauf gehen wir stichwortartig ein.

Wir haben im ersten Abschnitt nicht die Mineralrohstoffe, sondern die chemischen Grundstoffe alphabetisch geordnet, damit man sich leicht informieren kann, aus welchen Mineralen ein Element gewonnen wird. Darüber hinaus enthält die Aufstellung noch weitere Hinweise, wobei wir uns mit knappen Angaben begnügen.

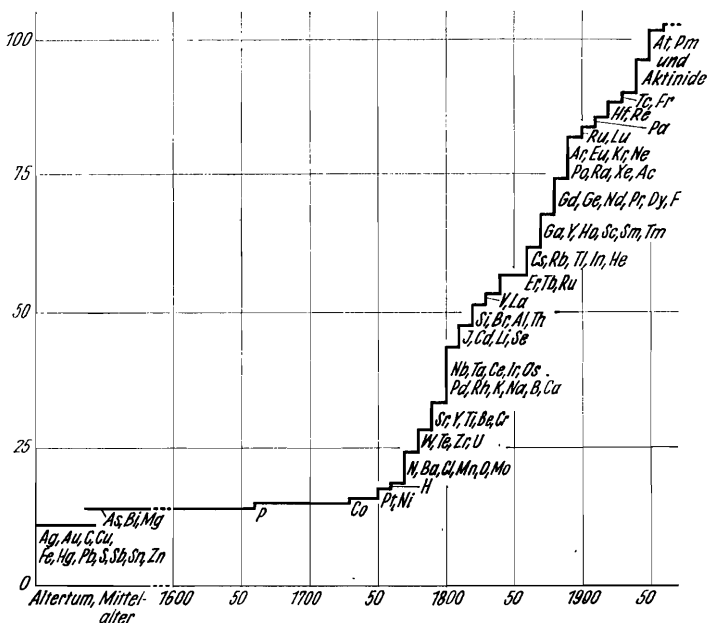
Neben dem Namen des Elements steht das Symbol, darunter stehen der Gehalt des Elements in den bauwürdigen Lagerstätten – soweit Angaben erreichbar sind – und in Klammern der Durchschnittsgehalt in der Erdkruste in Gramm pro Tonne ($\emptyset$ = Durchschnitt, g/t = Gramm pro Tonne, 10000 g/t = 1%). In der ersten Zeile werden weiter angeführt: Name des Entdeckers, Substanz, in der das Element entdeckt wurde und Jahreszahl der Entdeckung. Ganz rechts ist die Menge verzeichnet, die – falls nicht anders vermerkt – im Jahre 1960 gewonnen wurde.

Es folgen kurze Angaben über die Verwertung des chemischen Elements und seiner Verbindungen in den verschiedenen Industriezweigen.

Sodann sind die Minerale – mit ihren chemischen Formeln – aufgeführt, die als Erze das betreffende Element in wirtschaftlich bedeutendem Umfang enthalten. Hinter der Formel steht der Metallgehalt, und in Klammern sind weitere Elemente, die aus dem gleichen Mineral gewonnen werden können, notiert. Schließlich nennen wir die Bildungsbedingungen der Erzminerale. In der Regel sind in dieser Spalte *alle* Bildungsbereiche des jeweiligen Rohstoffminerals erwähnt. Ein anschließendes Fragezeichen bedeutet, daß das Gesagte nicht sicher erwiesen, sondern nur wahrscheinlich ist.

Einige chemische Grundstoffe stellt man aus Neben- oder „Abfall“-produkten der Hüttenindustrie und anderer Industriezweige dar; die Art ihrer Gewinnung wird knapp erläutert.

Die Mehrzahl der chemischen Grundstoffe ist erst nach 1750 entdeckt worden (s. S. 396). Es gibt heute kaum ein Element, das nicht irgendeine praktische Bedeutung erlangt hat. Bei der gegenwärtigen technischen Entwicklung ergeben sich oft neuartige Anforderungen an die Werkstoffe, denen häufig die Eigenschaften der „seltenen Metalle“ entsprechen. Atomkraftwerke und Raketentechnik gründen sich teilweise auf Rohstoffe, die noch vor wenigen Jahren als unbedeutend galten.



Die chemischen Grundstoffe in der zeitlichen Reihenfolge ihrer Entdeckung (nach RÖSLER und LANGE 1965)

Im zweiten Abschnitt sind die *Industriemineralien* zusammengestellt und alphabetisch geordnet worden. Sie lassen sich ohne weitere Verarbeitung – abgesehen von einer eventuellen Beseitigung der Verunreinigungen – in verschiedenen Industriezweigen verwenden.

Für mehrere Minerale gibt es noch andere Möglichkeiten der Verwertung, auf die hier nicht eingegangen wurde. Die beiden Zusammenstellungen vermitteln jedoch einen ersten Überblick über die wichtigsten Anwendungsbereiche.

Aluminium Al WÖHLER 1827 (AlCl_3) ca. 4542700 t
30 % ($\varnothing$ 8,1 %)

Metallurgie: Legierungen, Stahlgewinnung, Leichtmetall

Schwerindustrie: Flugzeugbau, Waggonbau, Automobilbau

Elektrotechnik: Kabel

Keramik: hochfeuerfeste Materialien (oxydisch und silikatisch)

Kerntechnik: Werkstoff

Diaspor (und Böhmit)	$\text{AlO}(\text{OH})$	45 % Al	sedimentär, hydrothermal, pegmatitisch, Verwitterungsprodukt, regional- und kontaktmetamorph
Gibbsit	$\text{Al}(\text{OH})_3$	35 % Al	sedimentär, Verwitterungsprodukt, hydrothermal?
Kliachit (= Alumogel)	$\text{AlOOH} + \text{aqua}$	wechselnd	sedimentär, Verwitterungsprodukt
Alunit	$\text{KAl}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$	18 % Al	vulkanisch-hydrothermal, Verwitterungsprodukt?
Nephelin	$\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$	19 % Al	alkalimagmatisch, alkalipegmatitisch

Aluminium wird hauptsächlich aus Bauxit gewonnen. Bauxit ist ein Gestein und besteht aus verschiedenen Mineralen, im wesentlichen aus Diaspor, Böhmit, Gibbsit und Kliachit. Dieses Gestein bildet sich unter bestimmten klimatischen Bedingungen als Verwitterungsrückstand verschiedener Ausgangsgesteine.

Antimon Sb Altertum ca. 56000 t
3 % ($\varnothing$ 0,2 g/t)

Metallurgie: Legierungsbestandteil, Letternmetall

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Akkumulatorenbau, Transistoren

Chemische Industrie: Imprägnationsmittel gegen Brand und Fäulnis

Antimonit	Sb_2S_3	72 % Sb (S)	Erzgänge
Senarmontit und Valentinit	Sb_2O_3	83 % Sb	Erzgänge (Verwitterungsprodukt)

Arsen As Altertum ca. 56230 t As_2O_3
($\varnothing$ 2 g/t)

Metallurgie: Legierungsbestandteil

Schwerindustrie: Lagermetall

Glasindustrie: Opalglas

Vorkommen der chemischen Elemente

Chemische Industrie: Insektizide, Pharmazeutika

Arsenkies (Arsenopyrit)	FeAsS	46 % As (Au, Ag, Co, Ni) 6–9 % Co = Danait 16–25 % Co = Glaukodot	Erzgänge, auch pneu- matolytisch oder kon- taktmetamorph
Löllingit	FeAs ₂	73 % As (S, Sb, Co, Ni, Au)	Erzgänge, kontaktmeta- somatisch, pegmatitisch- pneumatolytisch

Arsen fällt bei der Verhüttung As-haltiger Erze als Nebenprodukt an. Die Produktion übersteigt den Bedarf.

Barium Ba SCHEELE 1774 (Baryt) ca. 2812000 t
($\varnothing$ 400 g/t)

Bergbau: Tiefbohrtechnik

Elektrotechnik: Gettermetall (Elektronenröhren)

Chemische Industrie: Farbträger, Chemikalien

Papierindustrie: Beschweren von Kunstdruckpapier

Kerntechnik: Abschirmung von γ - und n-Strahlen

Baryt (Schwerspat)	BaSO ₄	58 % Ba	Erzgänge, tiefhydrother- male Gänge, chemisch- sedimentär, kontaktmetasomatisch
Witherit	BaCO ₃	69 % Ba	Erzgänge

Beryllium Be VAUQUELIN 1798 (Beryll) ca. 10050 t
1000 g/t ($\varnothing$ 1 g/t)

Metallurgie: Bestandteil von Speziallegierungen

Schwerindustrie: Flugzeug- und Raketenbau

Keramik: hochfeuerfeste oxydische Sinterkörper

Kerntechnik: Moderator, Neutronenquelle

Beryll	Al ₂ Be ₃ [Si ₆ O ₁₈]	5 % Be (Rb, Cs, Sc)	(granit-)pegmatitisch, hydrothermal
Phenakit	Be ₂ SiO ₄	15 % Be	pegmatitisch-pneumato- lytisch, hydrothermal?
Gadolinit	Y ₂ FeBe ₂ [O/SiO ₄] ₂	2–4 % Be (bis 45 % Yttererden)	pegmatitisch

Blei Pb Altertum ca. 2343400 t
4 % ($\varnothing$ 15 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Akkumulatorenbau, Kabelumhüllung

Keramik und Glasindustrie: Bleiglasuren, Bleiglas

Kerntechnik: Strahlenschutz

Bleiglanz (Galenit)	PbS	87 % Pb (Ag, Bi, Se, Te)	Erzgänge, kontaktmeta- somatisch, chemisch- sedimentär
Boulangerit	5PbS · 2Sb ₂ S ₃	55 % Pb	Erzgänge
Bournonit	2PbS · CuS · Sb ₂ S ₃	42 % Pb	Erzgänge

Bor B GAY-LUSSAC, THENARD, DAVY 1808 (H₃BO₃)
($\varnothing$ 3 g/t) ca. 660000 t Bormineralie (Stand 1959)

Metallurgie: Sonderstähle, Speziallegierungen

Elektrotechnik: Halbleitertechnik

Keramik und Glasindustrie: Glasuren, Gerätéglass

Chemische Industrie: Katalyse

Kerntechnik: Neutronenabsorber

Kernit	Na ₂ [B ₄ O ₆ (OH) ₂] · 3 H ₂ O	51 % B	kontaktmetamorph?
Borax	Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄] · 8 H ₂ O	36 % B	chemisch-sedimentär
Sassolin	B(OH) ₃	56 % B	vulkanisch (Sublimations- produkt)
Colemanit	Ca[B ₃ O ₄ (OH) ₃] · H ₂ O	51 % B	chemisch-sedimentär
Ulexit	NaCa[B ₅ O ₆ (OH) ₆] · 5 H ₂ O	43 % B	chemisch-sedimentär

Brom Br BALARD 1826 (Meerwasser)
($\varnothing$ 3 g/t)

Chemische Industrie: Chemikalien, Farbstoffe, Kampfstoffe, Pharmazeutika,
Erhöhung der Klopffestigkeit von Benzin

Kerntechnik: Herstellung von künstlichem Br-82 (Radioindikator)

Bromminerale haben wirtschaftlich keine Bedeutung. Die Endlaugen der Kaliumchloridlösungen sind mit Brom angereichert. Aus ihnen wird das Element industriell dargestellt, (Kaliindustrie). In den USA geht man dazu über, das Brom aus dem Meerwasser zu gewinnen (Durchschnittsgehalt 150 g/t).

Chlor Cl SCHEELE 1774 (HCl)

(≈ 200 g/t)

Metallurgie: Entzinnen von Weißblechabfällen

Chemische Industrie: Kunststoffe, Insektizide, Chemikalien, Desinfektionsmittel

Halit (Steinsalz)	NaCl	61 % Cl	chemisch-sedimentär
Sylvin	KCl	48 % Cl	chemisch-sedimentär
Carnallit	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	38 % Cl	chemisch-sedimentär
		(Br, Rb, Cs)	
Kainit	$\text{KMg}[\text{Cl}/\text{SO}_4] \cdot 2\frac{3}{4}\text{H}_2\text{O}$	14 % Cl	chemisch-sedimentär

Chrom Cr VAUQUELIN, KLAPROTH 1798 (Krokoit)

30 % (≈ 200 g/t) ca. 4 500 000 t

Metallurgie: Korrosionsbeständige Fe- und sonstige Legierungen

Elektrotechnik: Widerstandslegierungen

Keramik: hochfeuerfeste Chromitsteine

Chemische Industrie: Farbstoffe, Chemikalien

Chromit	FeCr_2O_4	46 % Cr	magmatisch (Erzlagerstätten)
---------	---------------------------	---------	---------------------------------

Eisen Fe Altertum 346 700 000 t

25–30 % (≈ 5 %)

Metallurgie: Legierungen

Schwerindustrie: wichtigster Werkstoff

Elektrotechnik: Ferrite

Kerntechnik: Strahlenschutz, Fe-59 als Radioindikator

Magnetit	Fe_3O_4	72 % Fe (Ti, Mn, V)	magmatisch, kontaktmeta- somatisch, regional- und kontaktmetamorph, che- misch-sedimentär
Hämatit (+ Maghemit)	Fe_2O_3	70 % Fe (Ti, Mn, V)	hydrothermal, Erzgänge, Verwitterung, chemisch- sedimentär, pneumato- lytisch, metasomatisch, vulkanisch
Limonit	etwa $\text{FeOOH} \cdot \text{aqua}$	59 % Fe	Verwitterung, chemisch- sedimentär

Vorkommen der chemischen Elemente

Siderit	FeCO_3	48 % Fe (bis 9 % Mn)	Erzgänge, kontaktmeta- somatisch, hydrothermal, chemisch-sedimentär, pegmatitisch-pneumato- lytisch
Pyrit	FeS_2	48 % Fe (S)	Erzgänge, magmatisch, pegmatitisch-pneumato- lytisch, hydrothermal, (bio-)chemisch-sedimentär
Chamosit	Eisensilikat	29–37 % Fe	chemisch-sedimentär
Thuringit	Eisensilikat	40 % Fe	niedrig-metamorph bis epizonalmetamorph

Fluor F MOISSON 1886 (HF)
($\varnothing$ 800 g/t)

Metallurgie: Schweißtechnik

Chemische Industrie: Plaste, Chemikalien, Raketentreibstoff

Kerntechnik: Gewinnung des U-235 aus natürlichem Uran

Fluorit	CaF_2	49 % F (Y, Ce, Er)	hydrothermal, pneumato- lytisch, kontaktmetasoma- tisch, sedimentär
---------	----------------	-----------------------	---

Gadolinium Gd (Gruppe der seltenen Erden) MARIIGNAC 1880
($\varnothing$ 6 g/t) (Gd_2O_3)

Metallurgie: Speziallegierungen

Kerntechnik: Neutronenabsorber

Gadolinit	$\text{Y}_2\text{FeBe}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]_2$	pegmatitisch (Y, Be, Ce, La, Nd, Er, Yb, Th)
-----------	--	--

Gadolinium ist neben anderen seltenen Erden anstelle von Y im Mineral enthalten.

Gallium Ga LECOQ DE BOISBAUDRAN 1875 (Zinkblende)
($\varnothing$ 15 — 5g/t) 1955: 250 kg

voraussichtlicher Bedarf: 500000 kg/Jahr

Metallurgie: Speziallegierungen

Elektrotechnik: Halbleiterproduktion, Laser

Chemische Industrie: Katalyse

Kerntechnik: Wärmeaustauscher

Gallium wird hauptsächlich aus Aschen, Flugstaub, Schlämmen und Laugen gewonnen, in denen es sich bei der Aufarbeitung anderer (Ga-haltiger) Erze anreichert, besonders bei der Verarbeitung von Zinkblende und Bauxit. Das Mineral Gallit CuGaS_2 hat wirtschaftlich keine Bedeutung.

Germanium Ge WINKLER 1886 (Argyrodit)

($\varnothing$ 2 g/t)

Elektrotechnik: Halbleiter, Fotozellen, Gleichrichter

Optische Industrie: Infrarotdurchlässige Gläser

Kerntechnik: Kernbatterien

Germanit	$\text{Cu}_3(\text{Ge}, \text{Fe})\text{S}_4$	22 % Ge (Ga)	Erzgänge
Renierit	$\text{Cu}_3(\text{Fe}, \text{Ge})\text{S}_4$	6–7 % Ge	Erzgänge

Einige andere Erze enthalten Germanium in geringen Mengen. Bei ihrer Verarbeitung wird das Ge als Nebenprodukt gewonnen (Zinkblende, Enargit, Tennantit). Außerdem wird Ge aus Generatoren- und Kohlenaschen dargestellt, in denen es unter Umständen angereichert ist.

Gold Au

Altertum

ca. 1402000 kg

5–10 g/t ($\varnothing$ 0,005 g/t)

Metallurgie: Legierungen, Oberflächenveredlung anderer Metalle

Elektrotechnik: Kontakte, gedruckte Schaltungen

Keramik und Glasindustrie: Glas- und Porzellanmalerei, Goldrubinglas

Die breiteste Anwendung findet Gold als Währungsgrundlage.

gediegen Gold Au	max. 100 % Au (Ag)	pegmatitisch, hydrothermal, Erzgänge und Seifen
Sylvanit AuAgTe_4	24 % Au (bis 13 % Ag, Te)	Erzgänge
Krennerit AuTe_2	43 % Au (bis 6 % Ag, Te)	Erzgänge
Nagyagit $\text{AuTe}_2 \cdot 6\text{Pb}(\text{S}, \text{Te})$	max. 10 % Au (Ag, Te)	Erzgänge

Gold tritt verbreitet in Pyrit und Arsenkies auf. Zuweilen erlangt es als Bestandteil dieser Minerale wirtschaftliche Bedeutung.

Hafnium Hf COSTER und v. HEVESY 1923 (Zirkoniumminerale)

($\varnothing$ 5 g/t)

35000 kg

Metallurgie: Speziallegierungen

Elektrotechnik: Gettermetall, Kathoden in Elektronen- und Röntgenröhren, Widerstandslegierungen

Keramik: hochfeuerfeste oxydische Materialien, Carbide usw.

Chemische Industrie: Katalyse

Kerntechnik: Neutronenabsorber

Hafniumminerale wurden bisher nicht gefunden. Da Hafnium in allen Zirkoniummineralen vorhanden ist, steht die produzierte Menge dieses Elements mit der des Zirkoniums in engem Zusammenhang.

Indium In REICH und RICHTER 1863 (Zinkblende)

($\varnothing$ 0,1–0,5 g/t)

Metallurgie: niedrigschmelzende Legierungen

Schwerindustrie: Gleitlager

Elektrotechnik: Halbleiter

Kerntechnik: Neutronenabsorber

Das einzige bekannte Indiummineral ist Roquesit CuInS_2 . Es besitzt keine wirtschaftliche Bedeutung. Indium wird aus Zinkblende gewonnen, in der es durchschnittlich mit 0,005 % (max. 0,1 %) auftritt.

Iridium Ir TENNANT 1804 (Platin) Platin und Platinmetalle

($\varnothing$ 0,001 g/t)

31 200 kg (1959)

Metallurgie: Legierungen

Elektrotechnik: Kontaktmaterial

Chemische Industrie: Katalyse, Geräteplatin

Kerntechnik: zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

gediegen Iridium Ir max. 100 % (Os, Pt, Rh, magmatisch, Seifen
Pd, Ru, Au)

Syssertskit (Ir, Os) (wechselnd Os) magmatisch, Seifen

Jod J COURTOIS 1812 (Asche von Meeresalgen)

($\varnothing$ 0,3 g/t)

Metallurgie: Gewinnung metallischen Zirkons und Titans

Chemische Industrie: Chemikalien, Pharmazeutika, Teerfarbstoffe

Kerntechnik: Radiotherapie

Jodminerale sind ohne wirtschaftliche Bedeutung. Die Hauptmenge an Jod wird aus dem Chilesalpeter gewonnen.

Kadmium Cd STROHMEYER 1817 (ZnCO_3)

ca. 9 860 t

($\varnothing$ 0,2 g/t)

Metallurgie: Speziallegierungen, Oberflächenbehandlung anderer Metalle

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Westonsches Normalelement, Akkumulatorenbau, Halbleiter

Chemische Industrie: Farbstoffe

Kerntechnik: Neutronenabsorber

Kadmiumminerale sind wirtschaftlich unbedeutend. Man gewinnt Kadmium überwiegend aus Zinkblende (bis zu 2 % Cd, gelegentlich noch höhere Gehalte).

Kalium K DAVY 1807 (KOH) ca. 9070000 t K_2O
($\varnothing$ 2,4 %)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Chemikalien, Düngemittel

Kerntechnik: Kühlmittel und Wärmeaustauscher

Sylvin	KCl	52 % K (Br)	chemisch-sedimentär
Carnallit	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	14 % K (Br, Rb)	chemisch-sedimentär

Kalzium Ca DAVY 1808 (Amalgam)
($\varnothing$ 3,5 %)

Metallurgie: Reduktionsmittel zur Darstellung anderer Metalle, Desoxydationsmittel, Legierungen

Schwerindustrie: Lagermetall

Chemische Industrie: Düngemittel, Azetylenproduktion, H_2 -Darstellung

Kalzit (Kalkspat)	$CaCO_3$	40 % Ca	Erzgänge, hydrothermale Klufthildung, chemisch-sedimentär
-------------------	----------	---------	---

Kobalt Co BRANDT 1735 (Wismut) ca. 15240 t
($\varnothing$ 10–50 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse, Farbenherstellung

Kerntechnik: Co-60-Isotop als starker γ -Strahler bekannt (Radiotherapie)

Kobaltglanz	$CoAsS$	35 % Co	Erzgänge
Skutterudit (Speiskobalt)	$CoAs_2$	etwa 21 % (Ni)	Erzgänge
Safflorit	$CoAs_2$	28 % Co (Ni)	Erzgänge
Heterogenit	$CoO(OH)$	64 % Co	Erzgänge, tiefhydrothermal, Verwitterungsprodukt

Kobalt wird außerdem aus Kiesabbränden und bei der Cu-Elektrolyse gewonnen.

Kohlenstoff C

Altertum

($\varnothing$ 320 g/t)

Metallurgie: Hüttenindustrie

Chemische Industrie: Grundstoff der organischen Chemie

Keramik: Graphit-Keramikkörper

Elektrotechnik: Stromabnehmer, Elektroden

Energiewirtschaft: Energiequelle

Kerntechnik: Moderator

Kohle (Stein-, Braunkohle, Torf)	vorwiegend C (H, N, O)	bio-sedimentär
Erdöl	C, H (weniger N, O)	bio-sedimentär

Kohlen und Erdöl sind keine Minerale, sollen aber, da sie die Basis der Kohlenstoffgewinnung darstellen, trotzdem genannt sein. Graphit und Diamant siehe unter Industrieminerale!

Kupfer Cu

Altertum

ca. 4158 400 t

1 % ($\varnothing$ 45 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Kabel

Kupferkies (Chalkopyrit)	CuFeS_2	35 % Cu	magmatisch, pegmatitisch-pneumatolytisch, chemisch-sedimentär?, hydrothermal/Ergänge
Chalkosin (Kupferglanz)	Cu_2S	80 % Cu (Ag)	Erzgänge, Umbildungsmineral, sekundär
Bornit	Cu_5FeS_4	55–69 % Cu	hydrothermal, magmatisch, kontaktmetasomatisch, pegmatitisch, chemisch-sedimentär
Enargit	Cu_3AsS_4	48 % Cu (Zn, Sn, Ag, Ge)	Erzgänge
gediegen Kupfer	Cu	max. 100 % Cu (Ag)	hydrothermal-vulkanisch, Verwitterungszone

Lanthan La MOSANDER 1839 (Zerit)

($\varnothing$ 18 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Elektrotechnik: Fluoreszenzmaterial

Chemische Industrie: Chemikalien

Keramik: keramische Sondermassen

Monazit	Ce [PO ₄]	70 % (La, Ce)	pegmatitisch, vulkanische
		Ce: La, Pr, Nd,	Auswürflinge, Seifen-
		Sm ca. 1:1	mineral

Lithium Li ARFVEDSON 1817 (Petalit) 62227 t Lithium-minerale (1959)

Metallurgie: Legierungen, Desoxydationsmittel

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Akkumulatorenbau, Fernsehrohren

Chemische Industrie: temperaturbeständige Schmierfette, Chemikalien

Keramik und Glasindustrie: keramische Sondermassen, Lithiumgläser

Kerntechnik: Wärmeaustauscher, Tritiumgewinnung

Spodumen	LiAl[Si ₂ O ₆]	4 % Li	pegmatitisch
Amblygonit	Li-Phosphat	5 % Li	pegmatitisch-pneumatolytisch
Lepidolith	Li-Glimmer	2 % Li (Rb)	pegmatitisch-pneumatolytisch

Magnesium Mg Mittelalter ca. 93 000 t

($\varnothing$ 2,1 %)

Metallurgie: Legierungen, Reduktionsmittel

Chemische Industrie: Fluorgewinnung, Reduktionsmittel, Chemikalien, Trocknungsmittel

Keramik: feuerfeste (Magnesit-)Steine

Bauindustrie: Sorelzement

Kerntechnik: Reaktorwerkstoff

Magnesit	MgCO ₃	29 % Mg	regionalmetamorph, metasomatisch
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	13 % Mg	chemisch-sedimentär, metasomatisch, Erzgänge, hydrothermal
Carnallit	K MgCl ₃ · 6H ₂ O	8 % Mg	chemisch-sedimentär

Bischofit $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 12 % Mg chemisch-sedimentär

Bei der NaCl-Gewinnung aus Meerwasser bilden sich magnesiumreiche Laugen, die industriell genutzt werden.

Mangan Mn GAHN 1774 (Braunstein) 13 500 000 t Erz
35 % (ø 1000 g/t) mit Mn > 30%

Metallurgie: Legierungen

Elektrotechnik: Trockenbatterien, Ferrite

Glasindustrie: Glasmacherseife

Pyrolusit	MnO_2	65 % Mn	Erzgänge, chemisch-sedimentär
Manganit	MnOOH	62 % Mn	Erzgänge, Oxydationszone (Bereich der Verwitterung durch sauerstoffhaltige Grundwässer)
Braunit	$\text{Mn}_7[\text{O}_8/\text{SiO}_4]$	64 % Mn	Erzgänge, kontaktmetamorph, regionalmetamorph, kontaktmetasomatisch
Hausmannit	Mn_3O_4	72 % Mn	Erzgänge, kontaktmetamorph und -metasomatisch
Rhodochrosit	MnCO_3	48 % Mn	Erzgänge, Verwitterungsprodukt

Die Verhüttung Mn-haltiger Erze läßt Mn-reiche Schlacken entstehen, aus denen das Mangan gewonnen wird.

Molybdän Mo SCHEELE 1778 (Molybdänit) ca. 40 700 t Erz
(ø 1 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Elektrotechnik: Heizwicklungen, Halterungen für Glühfäden und Anoden

Chemische Industrie: Katalyse, Farbstoffe

Glasindustrie: Opalglas, Emaille

Kerntechnik: Reaktorwerkstoff

Molybdänglanz (Molybdänit)	MoS_2	60 % Mo (Re, Ge)	Erzgänge, pegmatitisch, kontaktmetamorph
Wulfenit	$\text{Pb}[\text{MoO}_4]$	26 % Mo (Pb, W, V, Re)	Erzgänge, sekundär (Oxydationszone)

Vorkommen der chemischen Elemente

Natrium Na DAVY 1807 (NaOH) Stein- und Siedesalz
($\varnothing 2,8\%$) ca. 85440000 t

Metallurgie: Reduktionsmittel, Legierungen

Schwerindustrie: Lagermetall

Chemische Industrie: Trocknungsmittel, Reduktionsmittel, Katalyse, Chemikalien

Optik: IR- und UV-Optik

Kerntechnik: Wärmeaustauscher, Na-24 für Radiotherapie

Halit (Steinsalz) NaCl 39 % Na chemisch-sedimentär

Neodym Nd AUER VON WELSBACH 1885 (Didymoxid)
($\varnothing 24$ g/t)

Metallurgie: Zer-Mischmetall, Speziallegierungen

Chemische Industrie: Chemikalien, Katalyse

Glasindustrie: Glasfärbung

Neodym tritt vorwiegend in Zer-Mineralen auf.

Nickel Ni CRONSTEDT 1751 (Rotnickelkies) ca. 319200 t
1,5 % ($\varnothing 80$ g/t)

Metallurgie: Legierungen, Oberflächenvergütung anderer Metalle

Schwerindustrie: Flugzeugbau

Chemische Industrie: Laborgeräte, Katalyse

Elektrotechnik: Akkumulatoren, Widerstände

Kerntechnik: Reaktorstähle

Pentlandit	(Fe, Ni) ₉ S ₈	max. 45 % Ni (Fe, Co, Ag, Pt)	magmatisch
Nickelin (Rotnickelkies)	NiAs	44 % Ni (Cu)	Erzgänge, magmatisch
Chloanthit	NiAs ₃	28 % Ni (Co)	Erzgänge
Gersdorffit	NiAsS	35 % Ni (Co, Fe)	Erzgänge
Garnierit	(Ni, Mg) ₆ [(OH) ₈ /Si ₄ O ₁₀]	max. 25 % Ni	Verwitterungsprodukt, hydrothermale Um- wandlung

Niob Nb HATCHETT 1801 (Kolumbit) 1 100 t (1950)
($\varnothing 24$ g/t)

Metallurgie: Legierungen

Schwerindustrie: Gasturbinen, Düsenflugzeuge, Raketen

Chemische Industrie: Katalyse

Elektrotechnik: Gettermetall, Gleichrichter, Thermoelemente

Kerntechnik: Hülsmaterial für Uranbrennstoffelemente, Reaktorwerkstoff

Niobit	(Fe, Mn) (Nb, Ta) ₂ O ₆	max. 75 % Nb ₂ O ₅ (Ta)	pegmatitisch
Pyrochlor	(Ca,Na) ₂ Nb ₂ O ₆ (F, OH, O)	max. 70 % Nb ₂ O ₅ (Ta)	pegmatitisch

Osmium Os TENNANT 1804 (Platin) Platin und Platinmetalle:
($\varnothing$ 0,001 g/t) ca. 31 200 kg

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse

Elektrotechnik: Kontakte, Thermoelemente

gediegen Osmiridium	(Ir, Os)	17–40 % Os (Ir)	magmatisch, Seifen
gediegen Iridosmium	(Os, Ir)	68–38 % Os (Ir)	magmatisch, Seifen
gediegen Aurosmirid	(Ir, Os, Au)	ca. 25 % Os (Ir, Pt, Au, Ru, Rh, Pd)	magmatisch, Seifen

Palladium Pd WOLLASTON 1804 (Platin) Platin und Platinmetalle: ca. 31 200 kg
($\varnothing$ 0,01 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse, Laborgeräte

Elektrotechnik: Kontakte

gediegen Palladium	Pd	ca. 90 % Pd (Pt, Rh, Ir, Ru, Os)	magmatisch, Seifen
Stibiopalladinit	Pd ₃ Sb	ca. 70 % Pd	magmatisch, kontakt-metamorph

Phosphor P BRAND 1669 (Harn) Phosphate: 40 500 000 t
($\varnothing$ 1180 g/t)

Metallurgie: Legierungszusatz

Chemische Industrie: Chemikalien, Kunstdünger, Zündstoffe

Elektrotechnik: Halbleiter

Kerntechnik: Phosphor-32 als Radioindikator

Vorkommen der chemischen Elemente

Apatit	$\text{Ca}_5 [\text{F}/(\text{PO}_4)_3]$	40–42 % P_2O_5	magmatisch (alkalisyenitisch), pegmatitisch-pneumatolytisch, vulkanisch-pneumatolytisch, biochemisch-sedimentär
---------------	--	--------------------------------	---

Platin	Pt	WATSON 1750 (Platin)	Platin und Platinmetalle: ca. 31 200 kg
---------------	----	----------------------	--

($\varnothing 0,005 \text{ g/t}$)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse, Laborgeräte

Elektrotechnik: Pyrometer, Kontakte

gediegen Platin	Pt	90–80 % Pt (Ir, Os, Rh, Ru, Pd)	magmatisch, Seifen
-----------------	----	---------------------------------	--------------------

Sperrylit	PtAs_2	56 % Pt (Rh, Pd)	magmatisch, Verwitterungsprodukt
-----------	-----------------	------------------	----------------------------------

Cooperit	PtS	85 % Pt (Pd)	magmatisch
----------	--------------	--------------	------------

Praseodym	Pr	AUER VON WELSBACH 1885 (Didymoxid)	
------------------	----	------------------------------------	--

($\varnothing 6 \text{ g/t}$)

Metallurgie: Legierungen

Praseodym kommt stets gemeinsam mit anderen seltenen Erden, insbesondere mit Zerberden, in Zer-Mineralen vor.

Quecksilber	Hg	Altertum	ca. 8880 t
--------------------	----	----------	------------

($\varnothing 0,5 \text{ g/t}$)

Metallurgie: Amalgame, Raffination von Aluminiumlegierungen, Kathodenmaterial bei der Chloralkali-Elektrolyse

Chemische Industrie: Katalyse, Farbstoffe, Insektizide, Pharmazeutika

Elektrotechnik: Kontakte, Quecksilberdampfgleichrichter

Energiewirtschaft: Quecksilberdampfturbinen

Besonders vielseitig ist die Verwendung des Quecksilbers in technischen und wissenschaftlichen Geräten.

gediegen Quecksilber	Hg	max. 100 % Hg (Ag)	hydrothermal, Erzgänge und Imprägnationen, vulkanisch-thermal
----------------------	----	--------------------	---

Zinnober	HgS	86 % Hg	Erzgänge
----------	--------------	---------	----------

Radium	Ra	CURIE 1898 (Pechblende)	einige Gramm
---------------	----	-------------------------	--------------

($\varnothing 0,0000013 \text{ g/t}$)

Kerntechnik: Radiotherapie, Be-Ra-Neutronenquelle, α -Strahlenquelle

Radium bildet keine eigenen Minerale. Es ist ein Begleiter der Uranminerale, in denen es in sehr geringen Mengen vorkommt.

Rhenium Re TACKE und NODDACK 1925 (Platinerze)
($\approx 0,001$ g/t) 10000 kg (ohne UdSSR)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse

Optik: Verspiegelungen

Elektrotechnik: Transistoren, Glühfäden, Thermoelemente

Rhenium ist sehr selten. Nur wenige Minerale enthalten es in merklichen Mengen. Zu ihnen gehört Molybdänit (Molybdänglanz) MoS_2 mit maximal 0,002 % Re. Man gewinnt Rhenium aus Flugstaub der Molybdänitverhüttung.

Rhodium Rh WOLLASTON 1804 (Platin) Platin und Platinmetalle: ca. 31 200 kg
($\approx 0,001$ g/t)

Metallurgie: Legierungen, Oberflächenvergütung anderer Metalle

Elektrotechnik: Thermoelemente

Chemische Industrie: Katalyse, Laborgeräte

Optik: Verspiegelungen

Rhodium läßt sich in allen Platinmineralen nachweisen. Es wird jedoch vorwiegend aus Eisennickelkies und Kupferkies gewonnen.

Rubidium Rb BUNSEN und KIRCHHOFF 1861 (Dürkheimer Mineralwasser)
(≈ 120 g/t)

Metallurgie: Speziallegierungen

Elektrotechnik: Gettermetall, Fotozellen

Chemische Industrie: Chemikalien, Pharmazeutika

Rubidium bildet keine eigenen Minerale. Es ist im carnallitischen Rohsalz in gewinnbaren Mengen vorhanden (0,005–0,02 % RbCl). Höhere Rubidiumgehalte findet man in Lithiummineralen und Polluzit.

Ruthenium Ru CLAUS 1845 (Platin) Platin und Platinmetalle: ca. 31 200 kg
($\approx 0,001$ g/t)

Metallurgie: Speziallegierungen

Chemische Industrie: Düsen für Kunstseidenspinnerei

Laurit RuS_2 66 % Ru (Os) magmatisch

Vorkommen der chemischen Elemente

Die Hauptmenge des Rutheniums wird aus den Rückständen dargestellt, die sich bei der Platingewinnung ergeben.

Samarium Sm LECOQ DE BOISBAUDRAN 1879 (Didymoxid)
($\varnothing$ 7 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Samarium bildet keine eigenen Minerale. Es tritt in Zer-Mineralen auf.

Schwefel S Altertum ca. 10255 000 t
($\varnothing$ 520 g/t)

Chemische Industrie: Schwefelsäureerzeugung, Kunstdünger, Zellulose, Kautschukvulkanisation, Schwarzpulver, Pyrotechnik, Insektizide, Bleichmittel, Farbstoffe, Chemikalien, Pharmazeutika

gediegen Schwefel S	max. 100 % S (Te, Se)	vulkanisch, Umbildung aus anderen Mineralen
Pyrit (Schwefelkies)	FeS_2 53 % S (Fe)	Erzgänge, magmatisch, pegmatitisch-pneumatolytisch, hydrothermal, (bio-)chemisch-sedimentär

In zunehmendem Maße gewinnt man Schwefel aus Erdgas und Erdöl.

Selen Se BERZELIUS 1817 (Bleikammerschlamm) ca. 800 t
($\varnothing$ 0,09 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Elektrotechnik: Selengleichrichter, Fotozellen

Keramik- und Glasindustrie: Entfärbungs- und Färbemittel

Chemische Industrie: Pharmazeutika

Man gewinnt Selen als Nebenprodukt bei der Aufarbeitung sulfidischer Erze. Eine Produktion aus Selenmineralen ist unwirtschaftlich.

Silber Ag Altertum ca. 7330 t
500 g/t ($\varnothing$ 0,1 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Laborgeräte, Chemikalien, Pharmazeutika

Optik: Verspiegelungen

Elektrotechnik: gedruckte Schaltungen, Präzisionsinstrumente

gediegen Silber	Ag	max. 100 % Ag	hydrothermale Erzgänge (Au, Cu, Bi, Hg)
Argentit (und Akanthit)	Ag ₂ S	87 % Ag	Erzgänge
Proustit	Ag ₃ AsS ₃	65 % Ag	Erzgänge
Pyrargyrit	Ag ₃ SbS ₃	60 % Ag	Erzgänge
silberhaltige Fahlerze	(Cu ₂ , Ag ₂ , Hg) ₃ (Sb, As) ₂ S ₆	Tetraedrit 0,5–5 % Ag Freibergit 10–35 % Ag	Erzgänge

Silizium Si BERZELIUS 1823 (SiF₄)

(ø 27,72 %)

Metallurgie: Desoxydationsmittel

Chemische Industrie: säurefeste Stähle, Siliziumkarbid, Silikone

Elektrotechnik: Transformatoren- und Dynamostahl, Transistoren, Gleichrichter
Fotoelemente

Keramik und Glasindustrie: Silikatgläser, feuerfeste Silika- und andere Steine

Kerntechnik: Kernbatterien

Quarz	SiO ₂	53 % Si	magmatisch bis hydro- thermal, sedimentär
-------	------------------	---------	--

Skandium Sc NILSON 1879 (Erbiumoxid)

(ø 5 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Chemikalien

Thortveitit	Sc ₂ [Si ₂ O ₇]	50 % Sc	pegmatitisch
-------------	---	---------	--------------

Skandium tritt vorwiegend in Yttriummineralen auf.

Strontium Sr KLAPROTH 1793 (Strontianit) Strontium-
minerale: ca. 10300 t (ohne UdSSR)

(ø 450 g/t)

Metallurgie: Entschwefeln und Entphosphorn hochwertiger Stähle

Elektrotechnik: Gettermetall

Chemische Industrie: Pyrotechnik

Kerntechnik: Strontium-90 als β-Strahler

Strontianit	SrCO ₃	59 % Sr	Erzgänge, chemisch- sedimentär
-------------	-------------------	---------	-----------------------------------

Vorkommen der chemischen Elemente

Zölestin	SrSO_4	47 % Sr	chemisch-sedimentär, vulkanisch, Erzgänge (hydrothermal, Blasen- räume)
----------	-----------------	---------	--

Tantal Ta EKEBERG 1802 (Minerale der seltenen Erden)

(≈ 2 g/t)

Metallurgie: Legierungen, Sonderstähle, Hartmetalle

Chemische Industrie: Apparaturen, Katalyse

Elektrotechnik: Kondensatoren, Gleichrichter, Gettermetall

Kerntechnik: Uranschmelztiegel

Tantalit	$(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	88 % Ta_2O_5 (Nb)	pegmatitisch
Mikrolith	$(\text{Ca}, \text{Na})_2 (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$	80 % Ta_2O_5	pegmatitisch
Formanit	YTao_4	66 % Ta_2O_5	pegmatitisch

Tellur Te KLAPROTH 1798 (Goldtelluride) ca. 180 t

($\approx 0,0018$ g/t?)

Metallurgie: Legierungszusatz

Chemische Industrie: Zusatz in Spezialgummi

Elektrotechnik: Strahlungspyrometer, Sonnenbatterien, Halbleiterwiderstände,
thermoelektrische Geräte

gediegen Tellur	Te	max. 100 % Te (S, Se, Au, Ag)	Erzgänge
Altait	PbTe	38 % Te (Ag)	Erzgänge
Tellurbismutit	Bi_2Te_3	52 % Te	Erzgänge
Sylvanit	AuAgTe_4	62 % Te (Au, Ag)	Erzgänge
Nagyagit	$\text{AuTe}_2 \cdot 6\text{Pb}$ (S, Te)	18–30 % Te (Au)	Erzgänge

Anodenschlamm der Kupferelektrolyse, Flugstäube, die bei der Verhüttung tellurhaltiger Erze anfallen, und Bleikammerschlamm bilden weitere Rohstoffe für die Tellurgewinnung.

Thallium Tl CROOKES 1861 (Bleikammerschlamm) 20000 kg (≈ 1 g/t) (1955)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Schädlingsbekämpfungsmittel, Katalyse, Antiklopfmittel,
Farbstoffe, Pyrotechnik, Chemikalien

Elektrotechnik: Fotozellen

Optische Industrie: Speziallinsen

Kerntechnik: Thallium-204 als β -Strahler

Thalliumminerale sind wirtschaftlich unbedeutend. Das Element wird als Nebenprodukt der Blei- und Zinkverhüttung gewonnen.

Thorium Th BERZELIUS 1828 (Thorit) ca. 35 000 t (1962)
(≈ 10 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Auerglühstrümpfe, Katalyse

Elektrotechnik: Heizdrähte, Gettermetall, Kontaktlegierungen

Kerntechnik: Kernbrennstoff (im Gemisch mit Plutonium oder Uran-235)

Monazit (Ce, La, Th) $[\text{PO}_4]$ bis 28 % ThO_2 pegmatitisch, vulkanische
(seltene Erden) Auswürflinge, Seifen

Titan Ti GREGOR 1791 (Menakanit) 1948: 3 t
1953: 2 250 t
1956: 14 100 t
1959: 8 860 t
($\approx 4 400$ g/t)

Metallurgie: Legierungen

Schwerindustrie: Flugzeugbau, Raketentechnik

Chemische Industrie: Werkstoff, Katalyse, Farbenproduktion

Elektrotechnik: Kondensatoren, Ultraschallgeneratoren

Keramik: Rutil- und Titanatkeramik

Kerntechnik: Reaktorwerkstoff

Ilmenit	FeTiO_3	32 % Ti	magmatisch, pegmatitisch, Erzgänge
Rutil	TiO_2	60 % Ti	magmatisch, pegmatitisch, metamorph, Seifen

Uran U KLAPROTH 1789 (Pechblende) 37 000 t U_3O_8
(nur USA, Kanada, Südafrikanische Union, Frankreich,
(≈ 2 g/t) Republik Kongo, Australien)

Keramik und Glasindustrie: Farbglasuren, Uranglas

Kerntechnik: Kernbrennstoff

Uraninit (Pechblende)	UO_2	max. 83 % U	pegmatitisch, hydrothermale Gänge, sedimentär
--------------------------	---------------	-------------	---

Vorkommen der chemischen Elemente

Autunit	$\text{Ca}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	63 % UO_3	pegmatitisch, Umbildungsmineral
Torbernit	$\text{Cu}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10\text{--}12\text{H}_2\text{O}$	61 % UO_3	pegmatitisch, hydrothermale Klüfte, sedimentär
Carnotit	$\text{K}_2[(\text{UO}_2)_2/\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	max. 55 % UO_3 (V)	(bio-)chemisch-sedimentär

Vanadin V DEL RIO 1801 (Bleierz)

($\varnothing$ 110 g/t)

Metallurgie: Legierungen

Chemische Industrie: Katalyse, Pharmazeutika

Elektrotechnik: Normalwiderstände, Potentiometer

Kerntechnik: Werkstoff

Patronit	VS_4	49 % V_2O_5	(bio-)chemisch-sedimentär
Coulsonit	FeV_2O_4	81 % V_2O_5	regionalmetamorph
Descloizit	$\text{PbZn}[\text{OH}/\text{VO}_4]$	22 % V_2O_5	Erzgänge
Carnotit	$\text{K}_2[(\text{UO}_2)/\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	20 % V_2O_5 (U)	(bio-)chemisch-sedimentär

Wismut Bi

ausgehendes Mittelalter

($\varnothing$ 0,2 g/t)

Metallurgie: niedrigschmelzende Legierungen

Chemische Industrie: Pharmazeutika

Elektrotechnik: Schmelzsicherungen

gediegen Wismut	Bi	100 % Bi (Te)	Erzgänge (pegmatitisch bis hydrothermal)
Wismutglanz	Bi_2S_3	81 % Bi	Erzgänge

Wismut wird überwiegend bei der Blei- und Kupferraffination als Nebenprodukt gewonnen.

Wolfram W SCHEELE 1783 (Scheelit)

63 200 t Erze mit
ca. 60 % WO_3

($\varnothing$ 1 g/t)

Metallurgie: Legierungen, Hartmetall

Elektrotechnik: Glühfäden, Heizleiter, Kontakte, Gettermetall, Röntgenröhren

Kerntechnik: Reaktorwerkstoff

Wolframit	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	61 % W (Nb, Ta, Ti, Sc)	pegmatitisch-pneumatolytisch
-----------	-------------------------------------	-------------------------	------------------------------

Scheelit	CaWO_4	64 % W	pegmatitisch-pneumatolytisch, kontaktmetasomatisch
----------	-----------------	--------	--

Yttrium Y GADOLIN 1794 (Gadolinit)

(≈ 40 g/t)

Metallurgie: Legierungen, Zer-Mischmetall

Glasindustrie und Keramik: optische Gläser, Spezialkeramik

Gadolinit	$\text{Y}_2\text{FeBe}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]_2$	38 % Y (Be)	pegmatitisch
Xenotim	$\text{Y}[\text{PO}_4]$	49 % Y	pegmatitisch, Seifen
Fergusonit	$\text{Y}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_4$	27–36 % Y	pegmatitisch

Zäsium Cs BUNSEN 1860 (Polluzit) mehr als 30 t (1955)

(≈ 1 g/t)

Elektrotechnik: Fotozellen, Kathodenmaterial, Ikonoskop, Niederspannungs-gleichrichter

Optik: Infrarot-Spektroskopie

Kerntechnik: künstliches Cs-137 zur Materialprüfung und Radiotherapie

Polluzit	$\text{Cs}[\text{AlSiO}_6]$ $\cdot \text{H}_2\text{O}_{<1}$	35 % Cs_2O (Li, Rb)	pegmatitisch
----------	--	--	--------------

Außerdem wird Zäsium als Nebenprodukt bei der Carnallitaufbereitung gewonnen.

Zer Ce KLAPROTH 1803 (Cerit)

(≈ 46 g/t)

Metallurgie: Zer-Mischmetall, Legierungsbestandteil, Desoxydationsmittel

Schwerindustrie: Flugzeugbau, Fahrzeugbau

Glasindustrie und Keramik: Glasentfärbung, Keramikfarben

Zerit	$(\text{Ca}, \text{Mg})_2(\text{SE})_8$ $[\text{SiO}_4]_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	wechselnd	pneumatolytisch, kontaktmetasomatisch
Monazit	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th}) [\text{PO}_4]$	wechselnd (seltene Erden)	pegmatitisch, Seifen
Bastnäsit	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Di})$ $[\text{F}/\text{CO}_3]$	wechselnd	kontakt-pneumatolytisch, regionalmetamorph, pegmatitisch-pneumatolytisch

Zink Zn Altertum ca. 3263 100 t

4,0 % (≈ 80 g/t)

Elektroindustrie: Trockenbatterien, galvanische Elemente

Chemische Industrie: Farbenherstellung

Zielblende

ca. 188200 t

Schwerindustrie: Lagermetall

Elektrotechnik: Lötzinn galvanische Elemente

Chemische Industrie: Chemikalien

Zinnstein	d=0	50% d ₀	normalität, ungesättigt
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100

142 000 t Erz

und Konzentrate

Chemische Industrie: Werkstoff, Pyrotechnik

Keramik: Sonderkeramiken

Elektrotechnik · Gettermetall

Kerntechnik: Werkstoff

Zielart	ZrSiO ₄	67% Zr	neutralisierend alkalisch
---------	--------------------	--------	---------------------------

Industrieminerale

Eine Reihe von Mineralen werden so, wie sie in der Natur vorkommen, wegen bestimmter Eigenschaften gewonnen und in der Industrie verwendet. Mitunter ist eine Anreicherung erforderlich, da diese Minerale oft nicht einziger Bestandteil des Gesteins bzw. des Mineralvorkommens sind. Wie vielfältig man solche Rohstoffe technisch verwerten kann, wird aus folgender Zusammenstellung ersichtlich:

Asbest

ca. 2195000 t

Feuerfeste Gewebe; Wärmeschutz und Isolationsmaterial; Füllstoff für Kautschuk und Bremsbeläge; Zementzuschlagstoff (Dach- und Bauplatten)

Baryt (Schwerspat) und Witherit

ca. 2812000 t

Beschweren von Dickspülungen in der Tiefbohrtechnik; Spezialbeton; Strahlenschutz; Farbträger; Lithopone; Beschweren von Kunstdruckpapier; Füllmaterial

Diamant

Bohrkronen der Tiefbohrgeräte; Schneid-, Schleif- und Poliermaterial bei der Glas-, Stein- und Metallbearbeitung; Lagerstein von Präzisionsinstrumenten; Härteprüfgeräte; Ziehsteine für die Drahtherstellung

Dolomit

Totgebrannter Dolomit wird zu feuerfesten Massen verarbeitet. Bindemittel in der Bautechnik

Feldspat (und Feldspatvertreter z. T.)

> 1168000 t

Verwendung in der Grob- und Feinkeramik; Keramikglasuren; Emaille; Glasherstellung

Fluorit (Flußspat)

ca. 1 959 000 t

Flußmittel der Hüttenindustrie; Keramikglasuren; Opalgläser; Zementindustrie; klarer Flußspat für Fluoritoptik

Gips (und Anhydrit)

ca. 38 030 500 t

Rohgips: Zementindustrie; Düngemittel; Schwefelsäuregewinnung; Ammoniumsulfatproduktion

Branntgips: Gußformen der Eisenindustrie; Keramik; Modellgips usw.; Füllmittel

Glimmer (Muskovit, Biotit, Lithiumglimmer)

> 186 140 t

Anwendung in der Elektroindustrie als Isolationsmaterial (Fernseh- und Radioröhren; Radargeräte, Generatoren und Transformatoren); Füllstoff für Dachpappe; Glanztapeten; Gummi und Kunststoffe

Granat

Schleifmittel für Glas, Holz und Kunststoffe

Graphit

> 421 800 t

Graphit-Schmelztiegel; Bleistifte; Elektroden; Schleifbürsten in Elektromotoren; Kohlenstäbe für Trockenbatterien; Farb-, Schmier-, Poliermittel; Galvanoplastik; Reaktorgraphit (Moderator und Reflektor)

Kalzit (Kalkspat)

Bautechnik; Zementindustrie; Zuschlagstoff bei der Roheisenerzeugung. Klar durchsichtiger Kalzit (Doppelspat) wird von der optischen Industrie für Polarisatoren benötigt.

Korund

ca. 7250 t

Hochfeuerfest-Keramik, Schleifmittel, Lagersteine feinmechanischer Geräte

Magnesit

ca. 6439 700 t

Sintermagnesit: feuerfeste Steine, Chrommagnesitsteine

Kaustischer Magnesit: Sorelzement, Steinholzböden und -platten, Leichtbauplatten

Quarz

Schwingquarze für Elektrotechnik (1614,3 t); Quarzglas und Quarzglas; Glas- und Porzellanherstellung; Ferrosiliziumerzeugung; Formsand; Baumaterial; Filterstoffe; Füllmittel; Schleifmaterial

Rutil

Schutzhülle für Stahlschweißstäbe, Keramikfarbe und -glasur

Salzminerale

Kalisalz ca. 9 070 000 t

Steinsalz ca. 85 440 000 t

1. Kalisalze (Sylvin, Carnallit): Kunstdünger
2. Halit (Steinsalz): Lebensmittelkonservierung; Gewürz
3. Chilesalpeter: Düngemittel
4. Soda: Seifen- und Glasindustrie
5. Borax: Glasindustrie; Waschmittelproduktion

Schwefel

Schwefelsäuregewinnung; Insektizid, Gummiindustrie

Sillimanit (und Andalusit, Disthen)

ca. 130 600 t

Hochfeuerfest-Keramik (Ausmauerung von Hochöfen, Glaswannen); Spezialporzellane

Talk (und Pyrophyllit)

ca. 2 222 000 t

Talkum; Füllmassen für Papier, Gummi, Seifen; Trägerstoff für Insektizide; Isolationskeramik der Elektrotechnik; Trübungsmittel für Gläser

Tonminerale

ca. 2 000 000 t Rohkaolin

Zu dieser Gruppe gehören viele Minerale, wie Kaolinit, Montmorillonit, Illit, Chlorit, Attapulgit, Sepiolith, Allophanit u.a.m., die alle mehr oder weniger spezifische Eigenschaften aufweisen. Tonminerale verwendet man in der *Fein- und Grobkeramik* (Porzellan, Steingut, hochfeuerfeste Produkte) und in der Glas- und Zementindustrie, außerdem als Füllstoff für Papier, Textilien, Gummi, Linoleum, Asbest; Trägersubstanz für Farbstoffe und Insektizide; Bleicherden, Absorber- und Filtermaterial.

Der quellfähige Bentonit ist ein wichtiger Bestandteil der Bohrspülung für Tiefbohrungen. Tonminerale mit großer spezifischer Oberfläche (Attapulgit, Sepiolith) werden als Klärmittel für Petroleumöle und zum Entgiften von Auspuffgasen verwendet.

Wollastonit

Schweißelektroden, Farbträger

Edelsteine

Besonders schöne Minerale werden von altersher als Edelsteine geschätzt. Die Eigenschaften, die einen Edelstein auszeichnen, sind eine gewisse Härte, die Farbe oder auffallende Farbeffekte und nicht zuletzt natürlich die „Seltenheit“. Ein Mineral, das als Edelstein gelten soll, muß sich polieren lassen und möglichst widerstandsfähig sein. Bei den wertvolleren Edelsteinen setzt man voraus, daß sie durchsichtig und nicht durch Einschlüsse oder Risse getrübt sind. Eine Ausnahme bildet nur der Smaragd. Auch sollte die Färbung gleichmäßig sein und nicht wolkig oder schlierig. Der Glanz und die „Farbzerstreuung“ sind für den Edelsteincharakter eines Minerals ebenfalls bedeutsam.

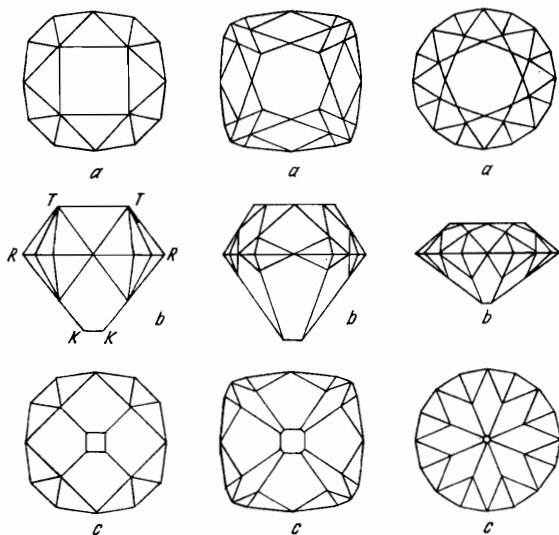
Neben physikalischen Eigenschaften und ästhetischen Gesichtspunkten bestimmt die zum Teil auf mystischen Vorstellungen beruhende Tradition den Wert des Edelsteins. Der Preis mancher Steine wird weniger durch ihr seltenes Vorkommen, als vielmehr durch eine begrenzte Produktion auf etwa gleicher Höhe gehalten.

Wer einen Edelstein richtig bestimmen will, muß eine gewisse Erfahrung haben und mit optischen Instrumenten umzugehen wissen. Ohne die Bestimmung optischer Daten und der Dichte ist es kaum möglich, Verwechslungen auszuschließen. Auch ein erfahrener Juwelier wird die exakte Bestimmung in vielen Fällen dem Mineralogen oder einem Edelsteinlaboratorium übertragen, um Irrtümer zu vermeiden.

Berücksichtigen wir ferner, daß viele wertvolle Edelsteine nachgeahmt (imitiert), aber auch künstlich hergestellt (synthetisiert) werden, so versteht es sich, daß zwischen echten Steinen, Imitationen und Synthesen unterschieden werden muß. Das ist nicht immer einfach, und besonders die Edelsteinsynthesen, die ja die gleiche chemische Zusammensetzung und auch den gleichen Gitterbau besitzen wie die natürlichen Steine, können nur durch das spezielle Studium von Einschlüssen, Wachstumsstörungen und anderen Erscheinungen erkannt werden. Die natürlichen Steine erzielen in der Regel einen viel höheren Preis als solche, die dem Labor entstammen. Der Preis der echten Steine hängt jedoch nicht nur von der Größe ab. Vom Fachmann wird bei sehr wertvollen Mineralen, z. B. dem Diamant, auf winzige Einschlüsse und andere Fehler geachtet. Danach richtet sich dann der Preis des Edelsteins.

Zum „Edelstein“ wird ein Mineral erst durch künstliche Bearbeitung, d. h. durch den „Schliff“. Schleifen und Polieren erhöhen die optische Wirkung. Das „Feuer“ der geschliffenen Diamanten (Brillanten) kommt dadurch zustande, daß die reflektierenden Flächen günstig orientiert werden. Die wichtigsten Schliffformen und ihre Bezeichnung sind auf den Seiten 424/425 abgebildet.

Die meisten Minerale erhalten durch den Schliff eine ebene Fläche an der Oberseite; das erleichtert die Bestimmung der Lichtbrechung mit dem Re-



Mazarinschliff

a = Tafelseite

T-T = Tafel

Peruzzischliff

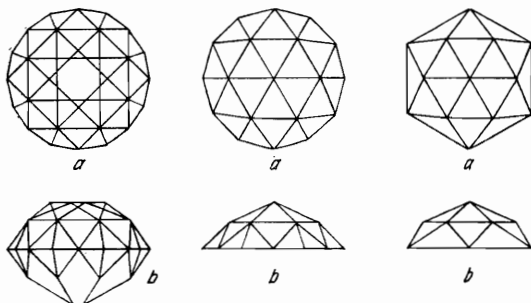
b = Seitenansicht

R-R = Rondiste

Brillantschliff

c = Unterseite

K-K = Kalette



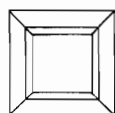
**Amerikanischer
Brillantschliff**

a = Tafelseite

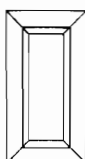
**Volle holländische
Rose**

b = Seitenansicht

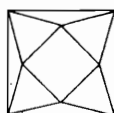
**Halbe holländische
Rose**



Quadrat



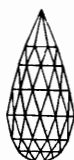
Baguette



French-cut



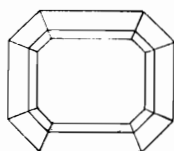
Markise



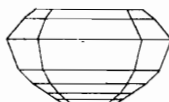
Briolett



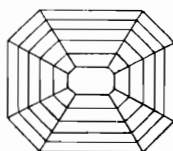
Pendeloque



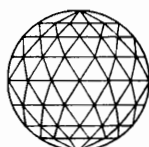
Tafelseite



*Treppenschliff
Seitenansicht*



Unterseite



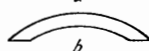
Kugel



Olive



a



b

Cabochon

*a) voll
b) ausgeschlögelt*



Kegel



Dublette

Schliffformen

fraktometer. Andererseits ist die Bestimmung der Dichte dadurch erschwert, daß die Edelsteine „gefaßt“ sind. Ist eine Dichtebestimmung unbedingt erforderlich, dann muß der Stein von einem Fachmann aus der Fassung genommen werden.

Das Gewicht der Edelsteine wird in *Karat* angegeben:

$$1 \text{ Karat} = 0,2 \text{ g} = 200 \text{ mg.}$$

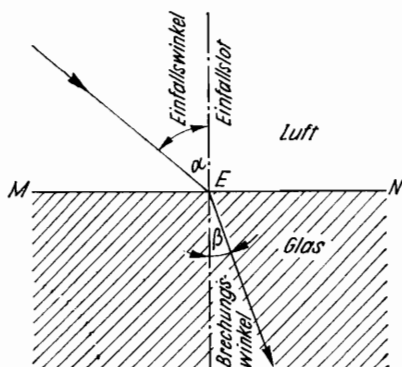
Die häufigeren Steine und die Synthesen werden auch nach Gramm gehandelt.

Über die Dichte- und Härtebestimmung ist an anderer Stelle das Nötige gesagt worden. Die Ritzprobe darf bei Edelsteinen nur an unauffälligen Stellen (Unterseite) vorgenommen werden; besser noch verzichtet man ganz darauf. Die Ermittlung von Spaltbarkeit und Bruch erübrigt sich von selbst, so daß von den äußeren Merkmalen eines Minerals nur Farbe, Durchsichtigkeit und Glanz beurteilt werden können. Das genügt nicht für die *exakte* Edelsteinbestimmung. Zu diesem Zweck muß man vor allem *optische Daten* ermitteln, und zwar sind zu prüfen: Licht- und Doppelbrechung, Pleochroismus, Dispersion („Farbzerstreuung“) und Absorption. Es würde zu weit führen, diese optischen Erscheinungen hier sämtlich zu erklären. Sie werden in den Lehrbüchern der Physik und Kristallographie erläutert, aber auch in Büchern, die sich speziell mit der Bestimmung von Edelsteinen befassen. Die meisten optischen Eigenschaften kann man nur mit Hilfe von Instrumenten feststellen (Refraktometer, Polarisationsmikroskop, Spektroskop u.a.).

Am einfachsten ist noch die Lichtbrechung zu bestimmen, da sie als kennzeichnende Größe an den gebräuchlichen Refraktometern unmittelbar abzulesen ist.

Bekanntlich wird ein Lichtstrahl, der schräg auf eine Grenzfläche fällt, beim Übertritt von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium (z.B. vom Übertritt aus der Luft in Glas) zum Einfallslot hin gebrochen. Der Sinus des Einfallswinkels steht zu dem Sinus des Brechungswinkels bei ein und demselben Stoff in einem konstanten Verhältnis, das wir als *Brechungsquotient* bezeichnen. In einer Figur ist dieser Sachverhalt dargestellt. Bei den meisten Mineralen sind die Brechungsverhältnisse nicht so einfach. Nur die kubischen und amorphen Minerale weisen einen einzigen Lichtbrechungswert auf. Alle anderen Minerale zerlegen auf Grund ihrer Gitternatur das auftreffende Licht in zwei Wellenfronten, die sich innerhalb des Kristalls mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortpflanzen. Wir bezeichnen diese Erscheinung als *Doppelbrechung*. An einem klar durchsichtigen Spaltstück aus Kalzit (Doppelspat) ist sie in Form einer Bildverdoppelung bereits mit bloßem Auge wahrnehmbar.

Wir wollen den komplizierten Vorgang der Doppelbrechung nicht näher darstellen. Es möge genügen zu wissen, daß die nichtkubischen Kristalle in



Erläuterung

Die Gerade M–N markiert die Grenzfläche zwischen Luft (oben) und Glas (unten). Am Einfallspunkt E des Lichtstrahls ist eine Senkrechte, das Einfallslot, gezeichnet und nach unten verlängert worden. Den Winkel α , den der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet, bezeichnet man als Einfallswinkel, den Winkel β , den der gebrochene Strahl mit dem nach unten verlängerten Einfallslot bildet, als Brechungswinkel. Der Brechungsquotient n , auf dessen Ableitung wir hier nicht eingehen wollen, ergibt sich wie folgt:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Das ist das SNELLIUSSCHE Brechungsgesetz.

fast allen Richtungen zwei Brechungsquotienten aufweisen. Nur in einer bzw. in zwei Richtungen sind sie einfachbrechend, und zwar die Kristalle des tetragonalen, hexagonalen und trigonalen Systems in Richtung ihrer kristallographischen Hauptachse und die Kristalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems in zwei Richtungen, die nur zufällig mit kristallographischen Elementen zusammenfallen können. In bestimmten Richtungen erreicht bei allen nichtkubischen Kristallen die Differenz zwischen dem kleinsten und dem größten Brechungsquotienten die höchsten Werte. Man nennt den kleinsten und den größten Brechungsquotienten auch die Hauptbrechungszahlen, die Differenz ihrer Werte gibt die Größe der *Hauptdoppelbrechung* an. Um diese kennzeichnende Größe zu messen, muß das Mineral eine bestimmte Orientierung haben. Oft wird man darauf verzichten müssen, den Betrag der Hauptdoppelbrechung zu ermitteln,

und sich mit dem qualitativen Nachweis der Doppelbrechung begnügen, der in folgender Weise geführt werden kann:

1. Bei der Untersuchung mit dem Refraktometer erkennt man doppelbrechende Minerale daran, daß zwei Grenzlinien der Totalreflexion auftreten, einfachbrechende Minerale ergeben hingegen nur eine Grenzlinie.
2. Bei der Untersuchung mit einem Polarisationsmikroskop erscheinen einfachbrechende Minerale zwischen gekreuzten Polarisatoren dunkel, während doppelbrechende Substanzen beim Drehen des Mikroskoptisches zumeist aufhellen. Drehen wir den Tisch um 360° , so erkennen wir vier Auslöschungen und dazwischen jeweils deutliche Aufhellungen.

In der folgenden Zusammenstellung der Edelsteine sind als Bestimmungshilfen nur die Lichtbrechungswerte und die Tatsache der Einfach- bzw. Doppelbrechung verzeichnet. Damit geben wir Hinweise, die eine fachmännische Edelsteinbestimmung aber in keiner Weise ersetzen können. Vielmehr wollen wir mit der Zusammenstellung nur zeigen, welche Minerale überhaupt als Edelsteine verwendet werden.

Diamant

Farbe: völlig farblos oder blaß gefärbt; aber auch farbige Steine

Härte: 10
Dichte: $3,52 \pm 0,01$
Lichtbrechung: 2,4
Doppelbrechung fehlt

Abb. Seite 24

Neben der Größe bestimmen Farbe, Einschlüsse und Schlifffgüte den Wert eines Diamanten.

Weltproduktion 1960: 28 130 000 Karat.

Das Verhältnis von Schmuckdiamanten zu Industriediamanten ist etwa 20:80. Nach SCHLOSSMACHER (1962) umfaßt die Diamantproduktion 94,3 % der gesamten Edelsteinproduktion.

Synthese: Die Diamantsynthese kann seit 1955 in größerem Umfang betrieben werden, liefert aber vorerst nur Industriediamanten.

Imitationen/Verwechslungen: Ähnlich ist das synthetische Strontiumtitanat, das mit dem Namen „Fabulit“ auf den Markt kommt. Seine Härte ist wesentlich geringer, die Dichte merklich höher ($D = 5,13$). Zirkon ähnelt dem Diamanten, weist aber Doppelbrechung auf.

Rubin = rot

Saphir = blau

Farbabarten des Korunds

Härte: 9
Dichte: $4,00 \pm 0,03$
Lichtbrechung: 1,762–1,770
Doppelbrechung vorhanden

Abb. Seite 24

Von diesen Edelsteinvarietäten verdankt Rubin seine rote Farbe geringen Chrombeimengungen. Saphir ist durch eine Eisentitanverbindung blau gefärbt. Beide Steine sind klar durchsichtig. Einige Rubine und Saphire zeigen, wenn sie rundlich geschliffen sind, einen sechsstrahligen Lichtschein (Sternrubin bzw. -saphir). Saphir ist mit 1,5 % und Rubin mit nur 0,5 % an der Gesamtproduktion von Edelsteinen beteiligt.

Synthese: Bereits im vorigen Jahrhundert ist die künstliche Herstellung gelungen. Seit etwa 1910 werden sowohl synthetische Rubine als auch synthetische Saphire nach dem VERNEUIL-Verfahren industriell in großer Menge hergestellt. Den Synthesen fehlen die natürlichen Einschlüsse, sie haben flachgekrümmte Anwachsstreifen und unter Umständen Luftblasen.

Imitationen/Verwechslungen: Glasimitationen sind einfachbrechend. Minerale der Chrysoberyllgruppe haben eine niedrigere Lichtbrechung. Rote Varietäten von Granat zeigen keine Doppelbrechung. „Kaprubin“ = Granat; „Balasrubin“ = Spinell.

Smaragd = smaragdgrün

Aquamarin = lichtblau bis blaugrün

Farbabarten des Berylls

Härte: $7\frac{1}{2}$ –8

Dichte: 2,72

Lichtbrechung: 1,577–1,583

Doppelbrechung vorhanden

Abb. Seite 24

Am wertvollsten ist der eigenartig grüne Smaragd, der im Wert den beiden Edelsteinen Diamant und Rubin entspricht. Im Unterschied zu ihm ist Aquamarin gleichmäßiger gefärbt und durchsichtig. Neben diesen beiden Edelsteinvarietäten gibt es auch Berylle mit anderen Färbungen (rosa, gelb, blaugrün), die ebenfalls geschliffen werden.

Synthesen: Künstlicher Smaragd wurde zuerst in Deutschland hergestellt. Neuerdings werden Smaragdsynthesen in den USA von CHATHAM durchgeführt. Ihre Lichtbrechung ist etwas niedriger als die der natürlichen Steine.

Aquamarine sind als Synthesen nicht bekannt.

Imitationen/Verwechslungen: Sowohl Smaragd als auch Aquamarin werden imitiert durch entsprechend gefärbte synthetische Korunde und Spinelle, die an ihren anderen charakteristischen Eigenschaften schnell zu erkennen sind. Verbreitet sind z. T. raffinierte Imitationen aus Bergkristall mit einer chromgefärbten Glaslamelle für Smaragd und die verschiedensten Glasimitationen, die man an fehlender Doppelbrechung erkennt. „Ural-smaragd“ = grüner Granat.

Alexandrit = grün bei Tageslicht, rot bei Lampenlicht

edles Katzenauge = gelblichgrün mit silberweißer Lichtlinie

Edelsteinabarten des Chrysoberylls

Härte: $8\frac{1}{2}$

Dichte: $3,73 \pm 0,02$

Lichtbrechung: 1,746–1,755

Doppelbrechung vorhanden

Auffällig ist die Farbänderung des Alexandrits, die besonders bei etwas dickeren Steinen gut sichtbar ist. Das Chrysoberyll-Katzenauge, auch Cymophan genannt, enthält zahllose feine Hohlkanäle, die bei den rundlich geschliffenen Steinen eine silberweiße Lichtlinie hervorrufen. Beide Edelsteine sind ausgesprochene Liebhabersteine, für die bei entsprechender Qualität sehr hohe Preise gezahlt werden.

Imitationen/Verwechslungen: Es gibt alexandritartige Korunde und auch künstliche Korunde, die dem Alexandrit ähnlich sind. Beide weisen eine höhere Lichtbrechung auf.

Im Unterschied zum edlen Katzenauge ist das Quarzkatzenauge undurchsichtig. Seine Lichtlinie ist verwaschener und die Dichte geringer.

Turmalin

Farbe: sehr farbenreich; meist grün,
gelb- bis blaugrün in allen
Farbtiefen
rot = Rubellit
blau = Indigolith

Härte: 7
Dichte: $3,06 \pm 0,05$
Lichtbrechung: 1,624–1,644
Doppelbrechung vorhanden
Abb. Seite 24

Turmalin gewinnt im Edelsteinhandel zunehmend an Bedeutung. Am beliebtesten sind die tiefgrün gefärbten Steine aus Brasilien.

Imitationen/Verwechslungen: Während es synthetischen Turmalin nicht gibt, kennen wir Imitationen aus verschiedenen Gläsern und aus künstlichem Spinell, denen aber die Doppelbrechung fehlt. Viele Steine können ähnliche Farben aufweisen. Um sie vom Turmalin zu unterscheiden, müssen die optischen Eigenschaften geprüft werden. Rosatopas hat ähnliche Lichtbrechungswerte, jedoch eine größere Dichte (3,53).

Granat

Mineralgruppe mit wechselnder
chemischer Zusammensetzung und
variablen Eigenschaften

Farbe: vor allem rot, grün, braun;
selten farblos

Härte: $6\frac{1}{2}$ –7
Dichte: 3,41–4,15
Lichtbrechung: 1,74–1,87
Doppelbrechung fehlt

Als Edelstein wird besonders der *rote Pyrop* verwendet, ferner der ebenfalls *rotgefärbte Almandin* und der *smaragdgrüne Demantoid* (ein Vertreter der Andraditreihe), seltener ein lichtbrauner Grossular, den man *Hessonit* nennt.

Imitationen/Verwechslungen: Glasimitationen weisen eine geringere Härte als echter Granat auf. Rubin, mit dem die roten Granate verwechselt werden könnten, zeigt Doppelbrechung. Das gleiche gilt für Smaragd und Peridot; mit ihnen könnte Demantoid auf Grund der ähnlichen Farbe verwechselt werden. Brauner Hessonit ist im Unterschied zu ebenso gefärbtem Zirkon optisch einfachbrechend. Schwieriger zu unterscheiden sind rote Spinelle und roter Granat (Almandin). Durch spektroskopische Untersuchung kann man jedoch einwandfrei und verhältnismäßig einfach feststellen, um welchen Edelstein es sich handelt. (Die beiden Minerale haben ein unterschiedliches Absorptionsspektrum).

Zirkon

Auffallend schwankende Eigenschaften, abhängig von der Zersetzung durch eingelagerte radioaktive Substanz

Farbe: sehr mannigfaltig, auch farblos; braun bis braunrot = Hyazinth

Härte: $6\frac{1}{2}$ – $7\frac{1}{2}$ (spröde!)
Dichte: 4,0–4,7 (!)
Lichtbrechung: 1,8–1,984
Doppelbrechung vorhanden

Abb. Seite 24

Die hohe Lichtbrechung, die einen starken Glanz bewirkt, und das beträchtliche Farbzerstreuungsvermögen lassen den Zirkon als Edelstein geeignet erscheinen. Sein Nachteil besteht darin, daß er ziemlich spröde ist und deshalb leicht ausbrechen kann. Die Farbe des natürlichen Zirkons läßt sich durch entsprechende Behandlung verändern. Durch Erhitzen im Sauerstoffstrom werden die braunen Hyazinthe farblos. Durch Erhitzen in Kohlenstoff, also in reduzierender Atmosphäre, entstehen bei Temperaturen zwischen 800 und 900°C aus den braunen Hyazinthen blaue Zirkone.

Imitationen/Verwechslungen: Künstlich hergestellter blauer Spinell ist an der niedrigeren Lichtbrechung zu erkennen. Zirkon kann nur mit Diamant und Saphir verwechselt werden, doch gibt es eindeutige optische Unterscheidungsmöglichkeiten.

Topas

Farbe: farblos oder mit blassen
blauen, gelben, roten, rosa, grünen,
violetten oder braunorangefarbenen
Tönen; selten kräftig braun

Härte: 8
Dichte: $3,52 \pm 0,04$
Lichtbrechung: 1,619–1,627
Doppelbrechung vorhanden

Abb. Seite 24

Am beliebtesten sind die leicht braun oder rosa gefärbten Topase, von denen die rosafarbenen zumeist durch Brennen bei einer Temperatur von 350–450°C aus braunen oder gelben Topasen erzeugt werden.

Imitationen/Verwechslungen: Gebrannte Amethyste und Zitrine bezeichnet man oft fälschlich als Topas. Neben abweichenden optischen Eigenschaften haben sie einen geringeren Glanz. Da Topas in so vielen Farbvarietäten erscheint, sind Verwechslungen mit anderen farblosen, gelben, braunen und bläulichen Steinen möglich. Um sie auszuschließen, müssen Licht- und Doppelbrechung ermittelt werden. „Orientalischer Topas“ = gelblicher *Korund*; „spanischer Topas“ = gelber *Quarz* (Zitrin).

Peridot

Olivin mit Edelsteinqualität
Farbe: sehr schönes Gelb- bis Braun-
grün

Härte: $6\frac{1}{2}$ –7
Dichte: $3,4 \pm 0,08$
Lichtbrechung: 1,654–1,690
Doppelbrechung vorhanden

Nur selten erreicht das gesteinsbildende Mineral Olivin Edelsteinqualität. Wegen seiner Farbe eignet sich Peridot gut als Schmuck, lediglich die geringe Härte ist ein gewisser Nachteil.

Imitationen/Verwechslungen: Glasimitationen mit guter Farbgebung sind durch fehlende Doppelbrechung als unecht nachzuweisen. Ein peridotfarbiger künstlicher Spinell wird vom Fachmann an der unnatürlichen Farbe erkannt. Verwechseln kann man Peridot allenfalls mit Demantoid (einfachbrechend) und mit gelbgrünem Turmalin und Chrysoberyll; diese Edelsteine zeigen jedoch andere Dichte und Lichtbrechung.

Spinell

Farbe: je nach den farbgebenden
Beimengungen recht wechselhaft

Härte: 8
Dichte: 3,6 bis 4,0
Lichtbrechung: 1,718–1,76
Doppelbrechung fehlt

Abb. Seite 24

Die wichtigsten Edelsteinspinelle sind rosa oder rotgefärbt; daneben werden saphirfarbige blaue, aber auch braune, violette, gelbe, grüne und farblose Spinelle geschliffen. Spinelle sind als Edelsteine im Handel nicht besonders verbreitet.

Synthese: Spinelle werden – ebenso wie Rubine und Saphire – nach dem VERNEUIL-Verfahren hergestellt. Diese künstlichen Steine besitzen innere Spannungen, die sich durch *anomale Doppelbrechung* zu erkennen geben. Da es nur schlecht gelingt, die charakteristischen Spinellfarben nachzuahmen, finden die Synthesen nicht als Spinelle, sondern anstelle von Aquamarin, grünem Turmalin und blauem Zirkon Eingang in den Edelsteinhandel.

Imitationen/Verwechslungen: Nachahmungen gibt es kaum, wenn man von entsprechend gefärbten Gläsern absieht, die durch unnatürliche Farbtöne leicht erkennbar sind. Verwechslungen mit Rubin und Saphir lassen sich ausschließen, da Spinelle im Gegensatz zu diesen Steinen keine Doppelbrechung zeigen. Zwischen Spinell und niedrig lichtbrechendem Granat kann nur mit Hilfe des Absorptionsspektrums unterschieden werden.
Arizona-Spinell = *Chromgranat*

Kunzit = rosa mit Stich ins bläulichviolette

Hiddenit = gelb bis grün

Farbabarten des Spodumens

Härte: 6–7
Dichte: 3,18
Lichtbrechung: 1,660–1,676
Doppelbrechung vorhanden

Als Edelstein wird vor allem *Kunzit* verwendet, der sich durch eine sehr schöne rosa Farbe auszeichnet. Im Gegensatz zu dem meist undurchsichtigen und unansehnlich graugefärbten Spodumen ist Kunzit klar durchsichtig. Der ebenfalls durchsichtige Hiddenit ist als Edelstein nicht sehr verbreitet.

Quarzvarietäten:

Bergkristall = klar, durchsichtig,
farblos

Rauchquarz = braun bis
fast schwarz

Amethyst = violett bis
purpurrot

Zitrin = gelb bis braun

Härte: 7
Dichte: 2,65
Lichtbrechung: 1,544–1,553
Doppelbrechung vorhanden

Von den durchsichtigen Abarten der Quarzfamilie ist der Amethyst am beliebtesten und am weitesten verbreitet. Durch Brennen kann er eine gelbe bis braune Farbe annehmen. Er gelangt dann als „Gold-, Palmeiro-, Madeiratopas“ usw. in den Handel. Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß solche Phantasiebeiworte („Hochstaplernamen“) immer verdächtig sind.

Manche Amethyste verblassen im Verlaufe der Zeit. Ebenso wie der gebrannte Amethyst wird auch der in allen möglichen Tönen gelb gefärbte Zitrin oft als Topas ausgegeben. Der geringere Wert des Rauchquarzes und des Bergkristalls erklärt sich aus der Verbreitung dieser Quarzvarietäten.

Synthesen: Bergkristall wird in ziemlich großer Menge künstlich hergestellt, jedoch ausschließlich für technische Zwecke.

Imitationen/Verwechslungen: Wegen des verhältnismäßig niedrigen Preises werden die Edelsteine der Quarzfamilie kaum nachgeahmt. Glasimitationen und violetter Flußspat sind im Gegensatz zu Amethyst nicht doppelbrechend. Kunzit und violetter Korund haben eine viel höhere Lichtbrechung. Das gleiche gilt für gelbe und braune Steine, die in ihrer Farbe dem Zitrin ähneln. Lediglich gelber Orthoklas stellt eine Ausnahme dar, wird jedoch kaum verschliffen.

UNDURCHSICHTIGE UND DURCHSCHEINENDE EDELSTEINE

Türkis

Farbe: helles Himmelblau mit Übergängen zu einem mit Grau und Blau untermischten Grün

Härte: 5–6
Dichte: 2,76–2,81
Lichtbrechung: 1,61–1,65
Doppelbrechung vorhanden

Türkis wird meist mugelig (mit gewölbter Oberfläche) und mit ebener Unterfläche geschliffen. Steine, die eine graue oder schwarze Aderung zeigen, nennt man *Türkismatrix*. Manche Türkise werden mit bestimmten Farbstoffen behandelt (Berliner Blau, Anilinfarben).

Imitationen/Verwechslungen: Während synthetischer Türkis nicht bekannt ist, gibt es mehrere sehr geschickte Nachahmungen, die aus Kunstharz, Glas, Email, Porzellan oder Preßmassen (Aluminiumhydroxid, Elfenbeinstücken) bestehen. Sogenannter „Zahntürkis“ erscheint bei Lampenlicht grau. Türkis kann man mit Lazulith und Variszit verwechseln. Diese Minerale werden gelegentlich zu Edelsteinen verarbeitet, weisen jedoch eine andere Dichte auf.

Lapislazuli

Farbe: dunkellasurel blau bis hellblau mit goldglänzenden Punkten

Härte: 5–6
Dichte: 2,75
Lichtbrechung: etwa 1,50
(Lasurit)

Lapislazuli besteht – im Unterschied zu den anderen Edelsteinen – aus mehreren Mineralen, und zwar aus Lasurit, Kalzit, Augit, Hornblende und Pyrit. Am beliebtesten sind bereits seit dem Altertum gleichmäßig gefärbte Stücke mit gut verteilten goldglänzenden Pyritkörnern.

Imitationen/Verwechslungen: Den begehrten Lapislazuli ahmt man in verschiedener Weise nach. Grauer Jaspis und rissiger Quarz werden künstlich gefärbt und als „Deutscher bzw. Schweizer Lapis“ angeboten. Auch Glasimitationen und lapisfarbige synthetische Sinterspinelle sind bekannt. Die lapisfarbigen Spinelle erkennt man leicht an ihrem höheren Glanz. Eine Verwechslung ist allenfalls mit Lazulith möglich, der jedoch nur selten geschliffen wird.

Quarzvarietäten

Auch zahlreiche feinkörnige bis dichte Varietäten der Quarzgruppe verwendet man als Edelsteine. Sie haben die gleiche Härte, Dichte, Licht- und Doppelbrechung wie die durchsichtigen Abarten (Bergkristall, Rauchquarz, Amethyst, Zitrin). Hier sollen nur die Namen der Abarten erwähnt und ihre wesentlichen Eigenschaften geschildert werden:

Aventurinquarz

Feinkörniges Aggregat mit einem vielfarbigen metallischen Schimmer, der durch eingelagerte Mineralblättchen entsteht

Jaspis

Meist rot, rotbraun, gelb oder grün gefärbtes Quarzaggregat mit fleckiger, streifiger, geflammter oder ganz unregelmäßiger Zeichnung

Saphirquarz

Durch eingelagerte Hornblendefasern tiefblau gefärbtes Quarzaggregat

Amethystquarz

Durchscheinender, violett gefärbter Quarz

Prasem

Derber, faseriger Quarz von lauchgrüner Farbe

Quarzkatzenauge

Stengeliges Quarzaggregat mit eingelagerten Hornblendefasern, durch die bei mugeligem (gewölbtem) Schliff eine Lichtlinie hervorgebracht wird

Falkenauge

Feinkristallines, parallelstengeliges Quarzaggregat mit eingelagerten Hornblendefasern; undurchsichtig und dunkel blaugrau gefärbt; auffälliger Seidenglanz

Tigerauge

Durch Verwitterung aus Falkenauge hervorgegangen; gelb, braun und gelegentlich schön goldbraun gefärbt; zeigt ebenfalls einen seidigen Glanz

Chalzedon

Mit diesem Namen werden alle dichten Quarzaggregate bezeichnet, die aus mikroskopisch feinen, parallel zueinander orientierten Fasern bestehen. Die zu Schmuck verwendeten Chalzedonarten haben die im folgenden zusammengestellten Sondernamen:

Chrysopras

Durch Einlagerungen wasserhaltiger Nickelsilikate schön apfelgrün gefärbter Chalzedon

Karneol (Sarder)

Roter bis braunroter oder rotbrauner Chalzedon

Heliotrop (Blutjaspis)

Grüngefärbter Chalzedon mit roten Punkten

Achat

Gebänderter, konzentrisch schaliger Chalzedon. Das von Natur aus oft unscheinbare Material wird vor der Verarbeitung zu Schmuckgegenständen meist gefärbt

Moosachat

Durchscheinender Chalzedon mit moosartig eingelagerten Hornblendefasern

Eine große Anzahl dieser an sich nicht besonders wertvollen Steine wird nachgeahmt. Ihren Wert erhalten viele feinkörnige Quarzabarten erst durch eine kunstvolle Verarbeitung zu Schmuck, wobei die Anfertigung von Gemmen aus gebändertem Achat wohl den Vorrang hat.

Opal

Härte: 6
Dichte: $2,15 \pm 0,08$
Lichtbrechung: 1,45
Doppelbrechung fehlt

Von diesem gelförmigen Mineral, das aus Kieselsäure und wechselnden Gehalten an Wasser besteht, werden die opalisierenden Stücke als *Edelopal* verarbeitet. Dieser Edelopal zeigt bunte Farbflecke in allen möglichen Schattierungen und Formen, die sich bei wechselnder Blickrichtung verändern. Durch rundliche Schliffformen werden die Farbeffekte gut zur Wirkung gebracht.

Im Gegensatz zum Edelopal sind die gemeinen Opalabarten, darunter als besondere Varietät ein durchsichtiger bis durchscheinender, hellbräunlichgelb bis tiefbraunrot gefärbter „Feueropal“, weniger wertvoll und verbreitet.

Imitationen/Verwechslungen: Opalnachahmungen aus Glas können im allgemeinen leicht erkannt werden. Da nur den „Edelopal“ das eigenartige Farbspiel auszeichnet, sind Verwechslungen mit anderen Steinen kaum möglich.

Feldspatvarietäten

Mondstein

Farbe: fast farblos und stark durchscheinend

Härte: 6–6½
Dichte: 2,62
Lichtbrechung: 1,532–1,542
Doppelbrechung vorhanden

Mondstein ist ein Kalifeldspat, bei dem auf einer gewölbten Schliifffläche ein bläulicher Lichtschein auftritt. Beim Bewegen gleitet dieser wogende Schein über den Stein hinweg.

Imitationen/Verwechslungen: Glasimitationen sind einfachbrechend, ebenso ein mondsteinartiger synthetischer Spinell.

Amazonit

Farbe: blaß- bis dunkelgrün mit einem bläulichen Stich

Härte: 6–6½
Dichte: 2,62
Lichtbrechung: 1,532–1,542
Doppelbrechung vorhanden

Amazonit ist ein undurchsichtiger Kalifeldspat (Mikroklin), der vermutlich durch geringe Kupfergehalte grün gefärbt ist.

Labradorit

Farbe: dunkel rauchgrau bis aschgrau und undurchsichtig

Härte: 6
Dichte: 2,70
Lichtbrechung: 1,559–1,568
Doppelbrechung vorhanden

Labradorit ist ein kalkreicher Plagioklas, der ein lebhaftes Farbenspiel in Form von metallisch glänzenden, vor allem blauen und grünen Tönen (den Anlauf-farben des Stahls ähnelnd) aufweist. Die Farbverteilung und die Farbtöne ändern sich beim Bewegen des Steins. Verwechslungen sind kaum möglich.

Jade

Unter der Bezeichnung Jade versteht man im Edelsteinhandel die drei folgenden Minerale:

Nephrit

Farbe: grün, aber auch braun, gelb,
blau und rot; elfenbeinweiß

Härte: 6–6½
Dichte: 2,95
Lichtbrechung: 1,606–1,632
Doppelbrechung vorhanden

Nephrit ist ein feinkörniges Aggregat winziger Hornblendenädelchen. Am beliebtesten sind die grünen oder elfenbeinweißen Arten mit gleichmäßiger Farbverteilung. Die murgelig geschliffenen Steine sind nur an den Kanten durchscheinend.

Jadeit

Farbe: reinweiß mit Stich ins Rote;
grünlichweiß, bläulichgrün,
lauch- und smaragdgrün

Härte: 6½–7
Dichte: 3,34
Lichtbrechung: 1,66–1,68
Doppelbrechung vorhanden

Jadeit ist ein spezieller Augit. Am wertvollsten sind halbdurchsichtige, smaragdgrüne Stücke. Der Edelsteinfachmann bezeichnet sie als „Imperial Jade“.

Chloromelanit

Entspricht in der Zusammensetzung weitgehend dem Jadeit, hat aber einen größeren Eisengehalt und dementsprechend eine *dunkelgrüne bis schwarze Farbe*. Auch die Dichte ist mit $D = 3,4$ höher als die des Jadeits.

Jade wird für Schmuck, häufiger jedoch für Ziergegenstände verwendet.

Imitationen: Eine Bleiglasnachahmung erkennt man an Luftbläschen. „Mexican-jade“ ist gefärbter Kalk. Schwieriger lassen sich Jade-Edelsteine von täuschend ähnlichen „Triplets“ unterscheiden, die aus wertloserem Jade zusammengesetzt sind. Zwischen den einzelnen Teilen befindet sich ein smaragdgrüner Farbstoff. Auch andere, künstlich gefärbte Stücke kann man nur spektroskopisch eindeutig als Nachahmung kennzeichnen.

Außer den erwähnten Mineralen verarbeitet man untergeordnet einige weitere Minerale zu Schmuck. Sie sind aber im Handel kaum anzutreffen, sondern werden nur gelegentlich geschliffen. Da lediglich der Edelsteinfachmann Interesse für sie hat, verzichten wir darauf, sie zu erwähnen.

Wer sich mit Edelsteinen vertraut machen möchte oder ausführliche Hinweise zur Edelsteinbestimmung sucht, dem empfehlen wir die folgenden Bücher:

K.SCHLOSSMACHER: Leitfaden für die exakte Edelsteinbestimmung, Stuttgart, 1950

K.SCHLOSSMACHER: Edelsteine und Perlen, 3. Auflage, Stuttgart, 1962

K.F.CHUDoba und E.J.GÜBELIN: Echt oder synthetisch? Stuttgart, 1956

W.FISCHER: Praktische Edelsteinkunde, Kettwig-Ruhr, 1954

SACHVERZEICHNIS

- Absatzgesteine 118
- Achsenkreuz 51
- allochromatisch 68
- amorph 34
- Analyse 108
- Anisotropie 38
- Arsenate 105
- Atom(e) 32
 - bau 86
 - bindung 90
 - gewicht 87
 - kern 40
 - radius 41
- Auftriebsverfahren 80
- Borate 104
- Bruch 77
 - flächen 78
- Chemische Bestimmung 108
- Chloride 103
- Chromate 105
- dichroitisch 73
- Dichte 78
 - bestimmung 78, 80
- dimorph 43
- Diskontinua 39
- Drehspiegelachse 56
- Drehungsachse 56
- durchsichtig 74
- Edelsteine 30, 423
 - durchscheinende 435
 - durchsichtige 429
 - undurchsichtige 435
- Edelsteinbestimmung 423
- Elektronenschalen 88
- Elektronenhülle 89
- Elementarzelle 42
- Elemente, chemische 86
 - Durchschnittsgehalt in der Erdkruste 29
 - Nachweis 112
 - Symbole 87
- Erdkruste 25
 - chemische Zusammensetzung 96
- Erstarrungsgesteine 118
- Erze 28
- Erzminerale 395, 397
- Farbe 68
 - Bezeichnung 73
 - Interferenz- 73
- Flächenbezeichnung 46
- Fluoreszenz 83
 - farben 83, 84, 85
- Frühkristallisation 135
- Geochemie 29
- Gesteine 117
 - Absatz- 117, 118, 128
 - Erguß- 126
 - Erstarrungs- 117, 118
 - Kreislauf der 119
 - magmatische 117
 - metamorphe 117
 - Sediment- 117
 - Umwandlungs- 117, 118, 130
 - Tiefen- 124
- Glanz 74
 - halbmetallisch 74
 - metallisch 74
 - nichtmetallisch 74
- Glaskopf 67
- Grundstoffe, chemische 86
- Habitus 62, 63
- Halogenide 103
- Härte 76
 - skala 76
- Hauptkristallisation 136
- Homogenität 38
- Hydroxide 103, 104
- idiochromatisch 68
- Imitationen 423
- Industrieminerale 30, 396, 419
- Interferenzfarbe 73
- Ionen 41, 90
 - radius 41
- Isomorphie 45
- isomorphe Reihen 45

- Isotope 86
- Isotypie 42
- Karat 426
- Karbonate 104
- Kation 90
- Kombination 47
- Konkretion 67
- Koordinationszahl 39
- Kopfbilder 59
- Kristall(e) 32, 34
 - Feinbau 34
 - Form 53, 54, 55
 - Gestalt 44
 - klassen 53
 - symmetrie 53
 - systeme 51
 - verwachsungen 64
 - wachstum 62
- kristallin 34
- Lichtdurchlässigkeit 74
- Lötrohranalyse 108
 - Arbeitsmittel 109
 - Arbeitstechnik 110
 - Verfahren 110, 111, 112
- Lumineszenz 83
- Magmatische Gesteine 118, 137
 - Abfolge 132
 - Übersicht 137
- Metamorphe Gesteine 118
 - Abfolge 118, 163
 - Übersicht 171
- Metamorphose 163
- MILLERSche Indizes 49
- Mineral(e) 25
 - aggregate 66
 - Anzahl 26
 - Bildungsweise 117
 - chemische Einteilung 102
 - chemische Zusammensetzung 98
 - formeln 103
 - künstliche 30
 - namen 27
 - Struktur und Gestalt 32
 - Verwendung 28
- Mineralbestimmung 181
 - Hilfsmittel 183
 - Hinweise 181
 - Schlüssel 184
 - Tabellen 185
- Mineralbildung 135
 - hydrothermale 143
 - magmatische 135
 - metamorphe 163
 - pegmatitische 139
 - sedimentäre 146
- Minerallagerstätten 26, 117
- Mineralrohstoffe 395
 - Verwendung 395
- Migmatite 118
- Mischgesteine 118
- Mischkristalle 100
- MOHRsche Waage 81
- MOHSSche Härteskala 76
- Molybdate 105
- Neutronen 41
- Nitrate 104
- oolithisch 67
- Ordnungszahl 86
- Organische Verbindungen 107
- Oxide 103
- Oxydationszone 153
- Parameterverhältnis 48
- Periodensystem 90, 94, 95
- Periode 91
- Periodizität 91
- pleochroitisch 73
- Phosphate 105
- Polare Achse 58
- polymorph 43
- Protonen 41
- Pseudomorphosen 65
- Rationalitätsgesetz 46, 48
- Raumgitter 35
- Ritzhärte 76
- Sammlung 172
 - Edelstein- 176
 - Kristall- 176
 - Lokal- 175
 - Regional- 175
 - Rohstoff- 176
 - systematische 175
- Schmucksteine 30
- Schwebemethode 81
- Sedimentgesteine 148
 - chemische 148
 - chemisch-biogene 148, 151

Sedimentgesteine 148
 mechanische 149
 klastische 148
 Übersicht 150
sedimentäre Abfolge 146
Seifen 149
 -minerale 149
Sekretionen 67
Silikate 105, 106
Spaltbarkeit(s) 77
 -eigenschaften 78
Spiegelebene 56
Spurenelemente 99
Stalaktiten 67
 stalaktitisch 67
Strich 68, 74
 -tafel 74
Struktur 32
 -typus 42
Sulfate 104, 105
Sulfide 102, 103
Sulfosalze 103

Symmetrieeigenschaften 53
Symmetrieelemente 53
 -zentrum 56
Synthesen 423

Tenazität 85

Umwandlungsgesteine 118
undurchsichtig 75

Vanadate 105
Verwitterung 146
 chemische 148
 physikalische 148

Wachstumsstörungen 63
Winkelkonstanz 44
Wolframate 105

Zementationszone 153
Zwillingsstreifung 64
Zwillingsverwachsung 64

