

LEHRBUCH
DER
MINERALOGIE

VON

D^{R.} GUSTAV TSCHERMAK,
O. Ö. PROFESSOR DER MINERALOGIE UND PETROGRAPHIE AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

SIEBENTE, VERBESSERTE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

BEARBEITET VON

D^{R.} FRIEDRICH BECKE,
O. Ö. PROFESSOR DER MINERALOGIE AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

MIT 960 ORIGINAL-ABBILDUNGEN UND 2 FARBENDRUCKTAFELN.

WIEN UND LEIPZIG.
ALFRED HÖLDER,
K. U. K. HOF- UND UNIVERSITÄTS-BUCHHÄNDLER,
BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1915.

ALLE RECHTE, AUCH DAS DER ÜBERSETZUNG, VORBEHALTEN.

Vorwort zur ersten Auflage.

Jeder, der in einem wissenschaftlichen Fache als Lehrer zu wirken in der Lage ist, wird in Beziehung auf die Auswahl und die Anordnung sowie auf die Behandlung des Stoffes im Laufe der Jahre zu einem festen Plane gelangen, welcher seinen eigenen Anschauungen und den Bedürfnissen seiner Zuhörer am besten entspricht. Demnach wird ein Lehrbuch, welches diesen Plan zur Darstellung bringt, einen individuellen Charakter zeigen und auch bei vollkommener Richtigkeit des Tatsächlichen den Einfluß des subjektiven Momentes erkennen lassen. Hieraus werden sich auch die Eigentümlichkeiten des vorliegenden Werkes erklären, welches in erster Linie für meine Zuhörer bestimmt ist.

Was die Materien betrifft, welche hier zusammengefaßt sind, wird sich vor allem darin eine Abweichung von dem Herkommen ergeben, daß im allgemeinen Teile auch die Lehren von dem Auftreten und Zusammenvorkommen, sowie jene von der Bildung und Veränderung der Minerale kurz behandelt sind, Lehren, die sonst in die Geologie verwiesen wurden. Diese Neuerung wird aber von allen denen gebilligt werden, welche die Mineralogie nicht bloß für eine Anwendung der Krystallographie, Optik und Stöchiometrie halten, sondern in dieser Wissenschaft die Naturgeschichte der Minerale erblicken. Diese umfaßt aber nicht bloß das Sein, sondern auch das Werden, nicht bloß den augenblicklichen Zustand, sondern alle Zustände der Minerale von ihrer Bildung bis zum Untergange, sie betrachtet die Minerale nicht bloß als Objekte der Sammlung, sondern als Bestandteile der Erdrinde, welche in örtlichem, stofflichem und zeitlichem Zusammenhange stehen. Es war übrigens eine bloße Inkonsequenz, die genannten Lehren dem allgemeinen Teile vorzuenthalten, da man doch nicht umhin konnte, bei den Beschreibungen im speziellen Teile das Vorkommen und die Veränderungen bei den einzelnen Arten zu erwähnen.

Die übrigen Abschnitte folgen der bisherigen Ordnung. Im allgemeinen Teile sind jene Lehren, welche das Verständnis des Folgenden ermöglichen, in der Ausdehnung behandelt, daß einerseits keine besonderen Kenntnisse vorausgesetzt, anderseits Erläuterungen vermieden werden, welche zweckmäßigerweise dem Vortrage und der praktischen Anleitung zuzuweisen sind. Dies bezieht sich auf die Projektion der Krystalle, Auflösung der Kombinationen, Bestimmung der Minerale u. s. w.

Im speziellen Teile wird man bemerken, daß ich nur jene Gattungen und Arten bespreche, welche in mehrfacher Beziehung wichtig sind, und mir nur dann eine Ausnahme gestatte, wenn es der Zusammenhang erfordert. Am Schlusse ist eine besondere Anführung der Gemengteile der Meteoriten beigefügt aus dem Grunde, um die Aufmerksamkeit des Anfängers auf dieses Kapitel zu lenken, das immer mehr an Wichtigkeit gewinnt.

Bei der Aufnahme der Tatsachen ließ ich es nicht an Vorsicht fehlen, daher manche Angaben übergangen, andere erst nach genauer Prüfung benutzt wurden, so daß ein Teil des Angeführten durch eigene Beobachtungen oder Rechnungen kontrolliert, bisweilen auch ergänzt ist.

In bezug auf die Anordnung wird man in den äußeren Umrissen eine Ähnlichkeit mit Naumanns Elementen wahrnehmen, da ich es für geboten halte, die logische Durchbildung, welche die großen Meister unserem Wissensschatze verliehen haben, zu bewahren und nur dort zu reformieren, wo es der wahre Fortschritt des Unterrichtes erfordert. In der Darstellung wähle ich häufig, um die Anschaulichkeit zu erhöhen, die genetische Folge, betrachte also die Erscheinung im Werden, anstatt nur das Ergebnis zu analysieren und suche überhaupt der induktiven Methode möglichst treu zu bleiben. Dieser gemäß werden überall, wo es tunlich, die Tatsachen zuerst für sich behandelt und erst später unter dem Gesichtspunkte der Theorie vereinigt. Das Fortschreiten vom Einfachen zum Zusammengesetzten erfordert in der Krystallographie eine Anordnung, deren ich mich seit Jahren bediene, die aber manchem auffallen wird, weil die Reihe der Krystalssysteme mit den triklinen Formen anhebt. Die Macht der Gewohnheit ist vielleicht zu groß, als daß ich schon jetzt auf Nachahmung rechnen dürfte, doch ist es mir nicht zweifelhaft, ob diese Methode sich später Geltung verschaffen werde. In dem Abschnitte über Mineralchemie folgt die Anordnung dem gleichen Prinzipie, die Darstellung ist aber möglichst knapp gehalten, wie dies den Umständen entspricht. In dem systematischen Teile ist gegenüber der früher üblichen Einteilung nach dem chemischen Prinzipie die Abänderung darin gelegen, daß auf die moderne Klassifikation der Grundstoffe Rücksicht genommen wird. Im optischen Teile wurde auch das gegenwärtig viel umstrittene Kapitel der Mimesie kurz besprochen. Das Erscheinen des Werkes in Lieferungen verursachte bezüglich der Beispiele einige unwesentliche Inkongruenzen, welche mir der Einsichtige nicht allzu hoch anrechnen wird.

Am Schlusse der Abschnitte und, wo es unausweichlich ist, im Texte sind Angaben der Literatur beigefügt. Diese haben den Zweck, denjenigen, welche tiefer in das Studium des Faches einzudringen beabsichtigen, die Auffindung aller wichtigen Arbeiten zu ermöglichen, sie verfolgen jedoch ihr Ziel in einer Weise, welche durch die Rücksicht auf die einem Lehrbuche gesteckten Grenzen geboten erscheint. Demnach werden für jene Gebiete, über welche Sammelwerke mit Quellenangaben vorhanden sind, gewöhnlich bloß diese bezeichnet, ferner bei der Anführung der Abhandlungen solche bevorzugt, welche ein Verzeichnis der Literatur enthalten.

Bei der Ausstattung des Werkes hat der Herr Verleger nichts gespart, was dem Buche zum Vorteil gereichen könnte. Die Zeichnungen für die Illustrationen

wurden von den Herren Prof. Dr. F. Becke in Czernowitz, Dr. M. Schuster und Dr. H. Wichmann in Wien mit der größten Sorgfalt ausgeführt, auch wurden von den Herren Bergrat Prof. Pošepny in Píbram und Prof. Rumpf in Graz wichtige Beiträge geliefert. Die Farbentafeln sind von Herrn Dr. M. Schuster in einer bisher unerreichten Vollkommenheit entworfen worden. Bei der Korrektur, welche in der ersten Auflage eines solchen Werkes eine schwierige Aufgabe ist, wurde ich von den Herren Prof. Becke und Dr. Schuster aufs eifrigste unterstützt. Den genannten Herren sage ich hier den gebührenden Dank, ebenso jenen werten Herren Kollegen, welche durch die günstige Aufnahme, die sie den beiden ersten Lieferungen zuteil werden ließen, die Vollendung des Buches wesentlich gefördert haben.

Wien, im Oktober 1883.

Vorwort zur zweiten Auflage.

In dieser zweiten Auflage sind die Mängel, welche sich in der ersten herausgestellt hatten, verbessert worden. Für die bezüglichen Mitteilungen und Bemerkungen bin ich vielen verehrten Fachgenossen, besonders aber den Herren F. Becke, A. Frenzel, C. Klein, G. vom Rath, V. v. Zepharovich und F. Zirkel zu vielem Danke verpflichtet, ebenso Herrn M. Schuster für die eifrige Mithilfe, welche mir derselbe bei der Korrektur des Textes und der Farbentafeln, ferner bei der Herstellung der neuen Figuren zuteil werden ließ.

Wien, im Jänner 1885.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die beifällige Aufnahme, welche dieses Lehrbuch in den Fachkreisen fand, hatte eine große Verbreitung desselben zur Folge und in verhältnismäßig kurzer Zeit machte sich das Bedürfnis einer neuerlichen Herausgabe geltend. Sowohl über den tatsächlichen als den theoretischen Teil des Werkes wurden mir viele zustimmende Urteile, bekannt, mehrere meiner Neuerungen, wie das Voranschicken einer allgemeinen Einleitung in die Krystallographie, die Aufnahme der als Lagerungslehre und als Entwicklungslehre bezeichneten Abschnitte haben in Lehrbüchern, welche mittlerweile erschienen, erfreuliche Nachahmung gefunden. Aus alldem glaube ich schließen zu dürfen, daß die Auswahl und die Behandlung des Stoffes den heutigen Anforderungen wenigstens annähernd entsprechen und daß eine wesentliche Umgestaltung des Buches nicht erforderlich sei. Die von einer

Seite gewünschte Ausdehnung des speziellen Theiles glaubte ich nicht vornehmen zu sollen, weil eine solche den Charakter des Werkes verändern würde.

Bei der Bearbeitung dieser Auflage wurde der Text des allgemeinen Theiles an manchen Stellen verbessert, die Zahl der Figuren wurde vermehrt und der optische Teil durch einige neue farbige Illustrationen vervollkommenet. In beiden Theilen ist, soweit es dem Zwecke des Buches entspricht, auf die neuen Forschungsergebnisse Rücksicht genommen, wodurch eine geringe Vermehrung des Textes entstand. Auf einige Stellen, welche zu berichtigen waren, machte mich Herr Prof. F. Becke in Czernowitz aufmerksam. Ihm verdanke ich außerdem die sorgfältigen Zeichnungen für neue Krystallfiguren, Herrn J. Pfund ebenfalls mehrere neue Bilder, Herrn J. Gränzer die Korrektur des Textes und der Farbentafeln.

Wien, im Juli 1888.

Vorwort zur vierten Auflage.

Bei der Herstellung dieser Auflage wurden wiederum viele Verbesserungen und Ergänzungen angebracht, welche durch die Vermehrung der Forschungsergebnisse während der letzten Jahre geboten erschienen. Herrn Prof. A. Arzruni in Aachen und Herrn Prof. F. Becke in Prag verdanke ich die Anregung zu wichtigen Änderungen, und auf den Rat des ersteren wurden auch für Gattungen von geringerer Verbreitung die krystallographischen Konstanten angeführt. Dankbar erwähne ich die Sorgfalt, welche Herr A. Pelikan der Form des Werkes angedeihen ließ. Von demselben wurden die Zeichnungen für mehrere neue Figuren entworfen, die Ausführung der Farbentafeln und die Korrektur des Textes geleitet. Bei der letzteren Arbeit wurde derselbe durch die eifrige Mitwirkung des Herrn A. König unterstützt.

Wien, im September 1893.

Vorwort zur fünften Auflage.

Auch diesmal wurden im allgemeinen Theile des Werkes mehrere Veränderungen vorgenommen und im ganzen dem Fortschritte der Wissenschaft entsprechende Zusätze angebracht. Wichtige Verbesserungen verdanke ich wiederum der Güte des Herrn Prof. Becke, die Korrektheit des Textes und die Neugestaltung der Farbentafeln der freundlichen Mühewaltung des Herrn Dr. Pelikan.

Wien, im Jänner 1897.

Vorwort zur sechsten Auflage.

Der hohe Grad der Entwicklung, welchen die theoretische Krystallographie erreicht hat, bringt es mit sich, daß in den Lehrbüchern der Mineralogie die Art der Einführung sich allmählich ändert und mehr einer deduktiven Methode sich nähert. Dementsprechend ist in dieser Auflage der krystallographische Teil etwas umgestaltet, indem die Gesetzmäßigkeit der Formen ausführlicher als früher behandelt erscheint. Dabei ist in der Symmetrielehre das Zonengesetz als Grundlage angenommen, weil es mehr naturgemäß erscheint, mit der Zonenlage, als einer sichtbaren Erscheinung, zu beginnen, statt, wie früher, von dem abgeleiteten Begriffe der Axen auszugehen. Auch in dem optischen Teile sind einige Veränderungen eingetreten, wobei auf die Fortschritte in der theoretischen und experimentalen Richtung Bedacht genommen ist. In dem speziellen Teile sind die in der Zwischenzeit entdeckten Gattungen so gut als tunlich eingereiht.

Für zahlreiche Verbesserungen des allgemeinen Teiles bin ich Herrn Prof. F. Becke in Wien und für mehrere wichtige Ratschläge Herrn Prof. C. Klein in Berlin sehr verbunden. Die neuen Figuren sind zumeist von Herrn J. Bruckmoser gezeichnet. Diesem sowie den Herren Dr. F. Wachter und A. Himmelbauer verdanke ich die eifrige Mithilfe bei der Korrektur und Anlage des Registers.

Wien, im Juni 1905.

G. Tschermak.

Vorwort zur siebenten Auflage.

Als vor drei Jahren sich die Notwendigkeit einer neuen Auflage dieses Lehrbuches herausstellte, habe ich auf Wunsch des Verfassers und des Verlegers die Bearbeitung derselben übernommen. Wohlbekannt mit den Vorzügen von „Tschermaks Mineralogie“, erblickte ich meine Aufgabe darin, die bewährte Auswahl und Anordnung des Stoffes zu erhalten und nur dort zu ändern, wo die Fortschritte der Forschung dieses erforderten. Nur wenige Änderungen waren im krystallographischen Teil erforderlich; im physikalischen Teil sind einige Verbesserungen vorgenommen worden. Weggelassen wurde der Abschnitt über Krystallberechnung, ferner sind im optischen Teil einige Kürzungen möglich gewesen. Im chemischen Abschnitt erforderten die Ergebnisse der physikalischen Chemie etliche Zusätze, die auch in einem elementaren Lehrbuch nicht zu umgehen waren. Im speziellen Teil wurden die hinreichend charakterisierten neuen Gattungen nach Tunlichkeit eingeordnet. Dagegen wurde die hier stellenweise zitierte Literatur größtenteils gestrichen, da man diese gegenwärtig besser in den bei Begründung dieses Lehrbuches noch nicht vorhandenen Sammelwerken (Hintze, Goldschmidt) sucht.

Wenn auch der Verfasser des Buches, mein verehrter Lehrer G. Tschermak, mir in der Gestaltung des Textes vollkommen freie Hand ließ, so daß ich allein für die Änderungen die Verantwortung trage, so durfte ich mich doch in vielen Fällen auf seine erprobte Erfahrung stützen, und dankbar denke ich daran, daß mir sein Rat bei der Bearbeitung nicht gefehlt hat.

Aber auch jüngeren Kollegen und Freunden verdanke ich manche wertvolle Anregung; insbesondere bin ich den Herren A. Pelikan, M. Stark, H. Tertsch, A. Himmelbauer und R. Gorgey für manchen guten Ratschlag, den drei zuletzt genannten auch für ausgiebige Hilfe bei der Herstellung der neuen Textbilder, der Korrektur der Tafeln und bei der Korrektur des Werkes zu lebhaftem Danke verbunden.

Wien, September 1914.

F. Becke.

Inhalt

	Seite
Einleitung	1
Mineralogie 1. Einteilung 2. Studium der Mineralogie 2.	
 Allgemeiner Teil	 4
I. Morphologie	4
Krystallisiert, krystallinisch 4. Amorph 4. Größe der Individuen 5. Krystall 5. Bildung der Krystalle 6. Das Wachsen 8.	
Gesetzmäßigkeit der Form 10. Konstanz der Winkel 10. Krystallmessung 11. Zone 16. Zonengesetz 17. Axen, Parameter 18. Parametergesetz 20. Flächentypen 22. Bezeichnungsweise 23. Krystallbilder 25. Schematische Projektionen 26. Parametergesetz und Zonengesetz 30. Zonenregeln 31. Krystallberechnung 33. Symmetrie 33. Krystallsysteme 38. Krystallklassen 43. Hemimorphie 46. Hemiedrie, Tetartoedrie 47. Einfache Formen 48. Flächensymmetrie 49. Krystallmolekel 51.	
Triklines System 55. Monoklines 58. Rhombisches 60. Trigonaies 64. Tetragonales 75. Hexagonales 79. Tesserales System 84.	
Parallele Verwachsung 93. Zwillingskrystalle 95. Ausbildung der Zwillingskrystalle 100. Zwillinge höheren Grades 110. Mimetische Krystalle 111. Verwachsung ungleichartiger Krystalle 114.	
Ausbildungsweise der Krystalle 115. Mikrolithe 119. Mikroskopische Untersuchung 120. Oberfläche der Krystalle 121. Inneres der Krystalle und Individuen überhaupt 125. Einschlüsse 129.	
Strukturlehre 136. Krystallgruppe 136. Krystalldruse 137. Formen krystallinischer Minerale 138. Formen der amorphen Minerale 141. Pseudomorphosen 142. Versteinerungen 146.	
II. Mineralphysik	147
Physikalische Eigenschaften 147. Elastizität 149. Kohärenz 153. Spaltbarkeit 154. Druckzwillinge 158. Translationsflächen 159. Schlag- und Druckflächen 161. Bruch 162. Härte 163. Ätzung 169. Verstäubung 177.	

Optische Eigenschaften 177. Lichtreflexion 178. Glanz 181. Durchsichtigkeit 182. Einfache Lichtbrechung 183. Totalreflexion 185. Farbenzerstreuung 189. Absorption 190. Farben 191. Strich 193.	
Interferenz 194. Polarisation 200. Doppelte Lichtbrechung 203. Optisch einaxige Krystalle 205. Optisch zweiaxige Krystalle 208. Wellenfläche zweiaxiger Krystalle 211. Verhalten im polarisierten Lichte 212. Nicolsches Prisma 213. Orthoskop 214. Erkennung der Doppelbrechung 216. Auslöschungsrichtungen 218.	
Hauptbrechungsquotienten 221. Erscheinungen an dünnen Platten 224. Interferenzfiguren 229. Dispersion der optischen Axen 234. Axenwinkelapparat 237. Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung 241.	
Pleochroismus 245. Rotationspolarisation 250. Verhalten der einzelnen Krystallsysteme 251. Erscheinungen an Zwillingen und mimetischen Krystallen 256. Änderung des optischen Verhaltens durch Druck und Spannung 258. Anomale Krystalle 259. Durch Textur bedingtes Verhalten 260. Fluoreszenz und Phosphoreszenz 261.	
Wärmestrahlung 262. Wärmeleitung 263. Wirkungen der Wärme in Krystallen 264. Schmelzen und Verdampfen 267.	
Elektrizität 269. Galvanismus 272. Röntgenstrahlen 273. Becquerelstrahlen, Radioaktivität 274. Magnetismus 275. Bestimmungen des spezifischen Gewichtes 278.	

III. Mineralchemie 282

Chemische Eigenschaften 282. Einfache Stoffe 283. Prüfung auf trockenem Wege 284. Auf nassem Wege 287. Erkennung der Bestandteile in einfachen Fällen 288. Mikrochemische Analyse 292. Gewichtsbestimmung 293. Gesetz der Verbindungsgewichte 295.	
Atomhypothese 298. Molekulargewicht 299. Atomgewicht 300. Formeln 304. Reaktion 304. Wasserstoffverbindungen 306. Chlorverbindungen 307. Sauerstoffverbindungen 308. Schwefelverbindungen 311.	
Salze 311. Chemische Konstitution 314. Krystallwasser 316. Molekelverbindungen 318. Berechnung der Formel 319.	
Polymorphie 320. Isomorphie 323. Isomorphe Mischung 327. Feste Lösungen 339. Darstellung der Verbindungen 340.	

IV. Lagerungslehre 351

Auftreten der Minerale 351. Verbreitung 351. Paragenesis 352. Sukzession 353. Vorkommen 353. Gesteine und Lagerstätten 354. Gemengteile 355.	
Lagerungsformen 356. Spalten und Absonderungen 357. Krusten und Füllungen 358. Imprägnationen 362. Kontaktbildungen 362. Massengesteine 363. Sedimentäre Gesteine 365. Kalkgesteine 366. Krystalline Schiefer 366. Die Atmosphäre 367. Das Wasser 367.	

V. Entwicklungslehre 370

Methoden 370. Werden und Vergehen 371. Zunahme der Mannigfaltigkeit 372. Bildungsweise 373.	
Erstarrungsprodukte 374. Bildungen durch Dämpfe 377. Lösung 378. Niederschlagsbildung 381. Absätze der Quellen 381. Bildungen der Tiefe 383. Produkte der Bodenwässer 385. Mineralbildung in Seen und aus dem Meere 386. Mineralbildungen, veranlaßt durch Organismen 387.	

	Seite
Veränderung der Minerale 389. Zersetzung 390. Aufnahme und Abgabe von Stoffen 391. Austausch 392. Fällung 393.	
Bedeutung der Pseudomorphosen 393. Einteilung derselben 394. Bildung der Versteinerungen 396. Umwandlung des Gefüges 397. Umwandlung der Substanz 398. Verwitterung 399. Verdrängung 400. Kreislauf der Stoffe 401.	
VI. Klassifikation	402
Vergleichung, Unterscheidung 402. Künstliche Systeme 403. Natürliches System 403. Genetischer Zusammenhang 404.	
Wesentliche Eigenschaften 405. Gattung und Art 406. Klassifikation der Mischungen 407. Gruppierung der Gattungen 407. Ordnungen und Klassen 409. Chemische Klassifikation 409. Anordnung im speziellen Teile 410. Charakteristik 412. Nomenklatur 413.	
Spezieller Teil	415
I. Elemente	417
Metalloide 417. Sprödmetalle 423. Schwermetalle 424.	
II. Lamprite	430
Kiese 430. Glanze 445. (Schwefelglanze 445. Selenglanze 451. Tellurglanze 451. Anhang 452.) Fahle 452. (Bleispießglanze 452. Fahlkupfererze 453. Giltigerze 459.) Blenden 463.	
III. Oxyde	469
Hydroite 469. Leukoxyde 471. (Quarzgruppe 475.) Stilboxyde 488. Ocher 495. Erze 496.	
IV. Spinellide	514
Aluminate 514. Borate 517. (Wasserstofffreie Borate 517. Wasserstoffhaltige Borate 519.)	
V. Silicoide	520
Carbonate 520. (Wasserstoffhaltige Carbonate 520. Wasserfreie Carbonate 523.) Silicide 544. (Olivingruppe 544. Wollastonitgruppe 548. Pyroxen-Amphibolgruppe 548. Leucitgruppe 562. Werneritgruppe 565. Feldspatgruppe 568. Andalusitgruppe 585. Granatgruppe 590. Epidotgruppe 599.) Hydrosilikate 606. (Zeolithe 606. Apophyllitgruppe 616. Galmeigruppe 617. Nontronitgruppe 619. Serpentingruppe 620. Chloritgruppe 625. Glimmergruppe 630. Tongruppe 637.) Titanolithe 640.	
VI. Nitroide	643
Tantaline 643. Pharmakonite 644. (Antimonate 644. Wasserstoffhaltige Arsenate 644. Wasserstofffreie Arsenate 646. Arsenite 646. Vanadate 646.) Phosphate 647. (Wasserfreie Phosphate 647. Wasserhaltige Phosphate 652.) Nitrate 655.	

	Seite
VII. Gypsoide	657
Sulfate 657. (Wasserstofffreie Sulfate 657. Wasserhaltige Salinarsulfate 665. Alumosulfate 672. Ferrisulfate 673. Vitriole 674. Basische Kupfer- und Bleisulfate 675.) Chromate 676. Tungsteine 676.	
VIII. Halite	680
Kerate 680. Halate 681. Fluoride 688.	
IX. Anthracide	691
Carbonsalze 691. Harze 691. Kohlen 692. Bitume 698.	
Anhang	703
Die Gemengteile der Meteoriten 703.	
Register	712
Verbesserungen	738

Einleitung.

1. Mineralogie. Die Rinde unseres Planeten besteht aus starren und aus flüssigen Massen, welche von einer luftigen Hülle umgeben sind. Jene Massen erscheinen gleichartig wie der Kalkstein oder aus verschiedenartigen Teilen zusammengesetzt wie der Granit. Der Kalkstein besteht bloß aus Körnchen von Kalkspat, der Granit aber aus Körnern von Feldspat, Quarz und Glimmer. Alle die unterscheidbaren Bestandteile, welche in größerem oder in kleinerem Maßstabe die Erdrinde zusammensetzen, werden Minerale genannt. Man pflegt sie oft zu den belebten Wesen, den Organismen, in einen Gegensatz zu stellen und als anorganische Naturkörper zu bezeichnen, doch werden nicht alle anorganischen Körper als Minerale betrachtet, sondern bloß diejenigen, welche ihrer Entstehung nach der Erdrinde zugehören.

Die Wissenschaft von den Mineralien wird Mineralogie genannt. Sie ist ein Teil der Naturgeschichte, welche die Aufgabe hat, eine vollständige Kenntnis der unmittelbaren Naturprodukte oder Naturkörper, und zwar sowohl nach ihrem gegenwärtigen Zustande als nach ihrer Entstehung und ihren Veränderungen zu sammeln und in geordneter Weise darzustellen.

Die Mineralogie will demnach in erster Linie die Beschaffenheit der Minerale, also alle an denselben wahrnehmbaren wesentlichen Eigenschaften und Erscheinungen sowie deren Beziehungen, ferner das Auftreten und die Verbreitung der Minerale in geordneter systematischer Form beschreiben, zweitens aber auch die Geschichte derselben, also die Bildung und Veränderung, das Werden und Vergehen dieser Naturkörper zur Darstellung bringen. Ihr Ziel ist die Kenntnis der Minerale im einzelnen und im Zusammenhange, und zwar sowohl im Zustande der Beharrung als der Veränderung, also die Kenntnis des Seins und Werdens der unterscheidbaren Bestandteile der Erdrinde. Sie geht so wie die übrigen Zweige der Naturgeschichte der Geologie voraus, welche den Bestand und die Geschichte der Erdrinde im ganzen erforscht.

In neuerer Zeit ist der Vorschlag gemacht worden, das Gebiet der Mineralogie zu erweitern und in der neuen Doktrin, welche als Anorganographie zu bezeichnen wäre, nicht bloß die Minerale, sondern auch alle übrigen leblosen Naturprodukte

abzuhandeln. Die vielen im Gebiete der Chemie neuentdeckten Verbindungen sind in der Tat auch Naturprodukte und ihre Kenntnis ist in kristallographischer und in chemischer Beziehung so wichtig wie die der Minerale. Ihre Entstehungsweise ist aber eine ganz andere als die der Minerale, und es erscheint daher dem Ziel der Naturgeschichte nicht entsprechend, in dieselbe ein so heterogenes Gebiet, welches in der systematischen Chemie seinen Platz findet, aufzunehmen.

2. Einteilung. Die Mineralogie als Doktrin wird in zwei Teilen abgehandelt, in einem allgemeinen und einem speziellen. Die allgemeine Mineralogie umfaßt die Lehre von jenen Erscheinungen, welche an allen oder an einer größeren Zahl von Mineralen auftreten, ferner die Darlegung der Beziehungen, welche sich im ganzen herausstellen. Die spezielle Mineralogie behandelt die einzelnen Mineralgattungen im besonderen und in systematischer Folge.

In der allgemeinen Mineralogie bezieht sich ein Teil auf die Form der Minerale, ist also Morphologie, welche in Krystallographie oder Lehre von den regelmäßigen Formen und in Strukturlehre zerfällt, die sich mit den Aggregationsformen der Mineralindividuen beschäftigt. Ein zweiter Teil ist die Mineralphysik, welche die physikalischen Erscheinungen behandelt, ein dritter die Mineralchemie, welche die stoffliche Zusammensetzung der Minerale zum Gegenstande hat, der vierte die Lagerungslehre, welche das Auftreten und die Vergesellschaftung der Minerale betrachtet, der fünfte die Entwicklungsgeschichte, welche die Bildung und die Veränderung der Minerale erörtert, und der sechste die Klassifikation der Minerale, welche die Prinzipien der systematischen Einteilung entwickelt.

In allen diesen Abteilungen werden Eigenschaften, Beziehungen und Veränderungen der Minerale abgehandelt, und insofern ist der allgemeine Teil eine Physiologie der Minerale. Zugleich aber werden für die einzelnen Eigenschaften, welche zur Unterscheidung der Minerale dienen, die üblichen Bezeichnungen oder Kunstausdrücke (Termini) angeführt und insofern ist hier auch die Terminologie enthalten. In früherer Zeit, da man die Aufgabe der Naturgeschichte darauf beschränkt glaubte, daß sie bloß die Begriffe der Naturkörper zu entwickeln und zu ordnen, also bloß die Naturdinge kunstgerecht zu beschreiben habe, war der allgemeine Teil bloß Terminologie, wogegen die Physiologie eine untergeordnete Rolle spielte. Gegenwärtig ist das Verhältnis umgekehrt.

In der speziellen Mineralogie werden die Begriffe der einzelnen Mineralgattungen in systematischer Folge entwickelt. Dieser Teil, die Physiographie, gibt also die Beschreibungen der Mineralgattungen und ordnet dieselben nach bestimmten Prinzipien, außerdem aber erörtert er im besonderen die Beziehungen, die Bildungsweise und die Veränderungen sowie das Vorkommen und die Verbreitung der Minerale. Von der technischen Verwendung, welche Gegenstand der Lithurgik ist, sowie von der kommerziellen Bedeutung einzelner Minerale wird in wissenschaftlichen Darstellungen gewöhnlich nur das Wichtigste angeführt.

3. Studium der Mineralogie. Das Studium unserer Wissenschaft setzt heutzutage einige elementare Kenntnisse voraus. Eine Einsicht in die Formverhältnisse wird nur derjenige gewinnen, welcher sich die elementaren Lehren der Geometrie

eigen gemacht hat. Selbständige Beobachtungen und Berechnungen auf dem Gebiete der Kristallographie beruhen auf der Anwendung der einfachsten Sätze der analytischen Geometrie und der sphärischen Trigonometrie. Die richtige Beurteilung der physikalischen Erscheinungen, der Substanzverhältnisse, der Bildung und Veränderung der Minerale setzt die Kenntnis der Anfangsgründe aus der Physik und Chemie voraus, namentlich solche aus der Optik und der Mineralchemie. Ein eingehendes Studium der Mineralogie erfordert aber eine länger dauernde praktische Handhabung der chemischen Mineralanalyse, ein Umstand, der öfters übersehen wird und welcher deshalb an dieser Stelle besonders hervorgehoben werden muß. Daß neben den Studien in der Sammlung und im Laboratorium die Beobachtung in der Natur eifrig gepflegt werden muß, bedarf wohl keiner besonderen Ausführung; hierin berührt sich die Mineralogie mit der Geologie, welche die Bildungsgeschichte der Erdrinde erforscht.

Wegen der notwendigen Vorbereitung in den Hilfswissenschaften könnte die Erwerbung eines gründlichen mineralogischen Wissens ziemlich schwierig erscheinen, doch wirken heutzutage zwei Umstände zusammen, um das Studium zu erleichtern und den Weg der Forschung zu ebnen. Erstens vereinfacht sich die Methode des Unterrichts, welcher stets den Zusammenhang der Erscheinungen betont, fortwährend, und zweitens führen die mineralogischen Institute und Laboratorien, deren Gründung den letzten Dezennien angehört, den Anfänger auf bedeutend abgekürztem Wege zur selbständigen Beobachtung und zur geeigneten Anstellung der Versuche. Die günstigen Folgen sind schon jetzt erkennbar. Die Teilnahme an der mineralogischen Wissenschaft ist merklich gestiegen und der Kreis der eifrigen Forscher in erfreulicher Zunahme begriffen.

Allgemeiner Teil.

I. Morphologie.

4. Krystallisiert und krystallinisch. Die meisten Minerale sind starr und bestehen aus einem oder aus mehreren einheitlichen Körpern, welche man oft als Individuen bezeichnet. Diese sind gleichartig (homogen), indem alle Teile derselben von gleicher Beschaffenheit befunden werden und Unterbrechungen der Gleichartigkeit nur dort eintreten, wo zufällig fremde Körper eingelagert vorkommen. Die Individuen haben entweder einen bestimmten inneren Bau sowie eine damit zusammenhängende bestimmte, ebenflächige Gestalt und heißen Krystalle oder sie besitzen zwar den bestimmten inneren Bau, zeigen aber äußerlich bloß zufällige, unregelmäßige Formen und werden krystallinische Individuen genannt. Die meisten Minerale sind also entweder krystallisiert, sie zeigen ausgebildete Krystalle, oder sie sind krystallinisch. Die oft vorkommenden Krystalle von Quarz, Calcit, Pyrit sind Beispiele frei ausgebildeter Individuen, der körnige Kalkstein, der faserige Gyps zeigen dagegen Individuen mit den zufälligen Formen von Körnern und Fasern, welche durch gegenseitige Behinderung zu solcher Gestalt gelangt sind. Der Unterschied zwischen einem Krystall und einem krystallinischen Individuum desselben Minerals ist demnach ein bloß äußerlicher, der innere Bau ist aber bei beiden derselbe.

Die Gesteinsmassen, welche die Erdrinde zusammensetzen, sind großenteils krystallinisch oder sie bestehen aus krystallinischen Fragmenten. Manche enthalten zahllose kleine oder auch größere Krystalle, von welchen die ersteren häufiger sind, aber erst bei der mikroskopischen Betrachtung wahrgenommen werden. In Hohlräumen und in Spalten der Gesteine finden sich zuweilen deutliche und schöne Krystalle, welche an den Wänden haften. Solange man also mit freiem Auge in der Natur beobachtet, wird man selten Krystalle, dagegen häufig krystallinische Minerale wahrnehmen.

5. Amorph. Es gibt auch starre Minerale, welche nicht individualisiert erscheinen und welche allen ihren Eigenschaften zufolge keinen regelmäßigen Bau erkennen lassen. Sie kommen darin mit den flüssigen Mineralen überein und werden wie diese als amorph oder gestaltlos bezeichnet. Ein Beispiel eines starren amorphen

Körpers ist der Opal, der flüssige Zustand wird vor allem durch das Wasser dargestellt. Zwischen dem eigentlich flüssigen und dem starren Zustande liegt der zähflüssige, wie er am Bergteer beobachtet wird, der milchige bis breiartige, aus welchem der amorphe Magnetit hervorgeht, der schleimige und gallertartige, mit welchem die Bildung des Opals beginnt. Man kennt eine Anzahl von derlei Körpern, welche in der ursprünglichen Flüssigkeit nicht aufgelöst, sondern wie der Leim bloß fein verteilt waren. Sie werden seit Graham als Kolloide bezeichnet zum Unterschiede von den Krystalloiden, welche in vollkommener Lösung enthalten sind und beim Verdunsten der Flüssigkeit sich krystallinisch abscheiden. Amorphe Minerale, die aus einem gallertartigen Zustande hervorgegangen sind, werden nach Breithaupt porodine Körper genannt. Andere bilden sich durch Erstarrung aus einem heißen Schmelzfluß wie das Glas und werden hyaline Minerale genannt. Ein Beispiel ist der Obsidian.

6. Größe der Individuen. Die Größe der Individuen schwankt ungemein, und zwar oft bei demselben Mineral. Ein Quarzindividuum, ob nun krystallisiert oder als Körnchen, kann von solcher Kleinheit gefunden werden, daß es nur bei starker Vergrößerung durch das Mikroskop wahrnehmbar wird. Andererseits gibt es Quarzkrystalle von Meterlänge und darüber. Feldspatindividuen sind gar häufig von mikroskopischer Kleinheit, doch kommen zuweilen solche von vielen Metern im Durchmesser vor. In der Größe liegt sonach kein Merkmal, doch läßt sich im allgemeinen sagen, daß nur bei den häufig vorkommenden Mineralen Individuen von bedeutenden Dimensionen vorkommen und daß bei den übrigen erfahrungsmäßig manche stets nur sehr kleine Krystalle oder überhaupt Individuen bilden.

7. Krystall. Die Krystalle sind von ebenen Flächen begrenzte Körper, die ihre gesetzmäßige Form beim Übergange des beweglichen in den starren Zustand gewonnen haben. Ihre äußere Form ist das unmittelbare Ergebnis des regelmäßigen Baues und beide stehen im notwendigen Zusammenhange. An den fertigen Krystallen zeigt sich dieser Zusammenhang bei genauer Prüfung dadurch, daß nach Richtungen, die an der äußeren Form gleich sind, ein gleiches Verhalten und nach verschiedenen Richtungen ein verschiedenes gefunden wird. Am leichtesten erkennt man diesen Zusammenhang durch die Spaltbarkeit, welche vielen Krystallen eigen ist. Diese haben die Eigenschaft, sich beim Spalten in bestimmten Richtungen nach ebenen Flächen zerteilen zu lassen, welche dieselbe Lage haben wie die Krystallflächen. Die äußere ebenflächige Begrenzung des Krystalles erscheint daher nur als eine Wiederholung des inneren Gefüges.

Krystalle kommen aber nicht bloß im Bereiche der Minerale, sondern auch unter allen anderen Gebilden vor, welche nicht organisiert sind. Die Krystalle des Zuckers, des Weinstein liefern Beispiele dafür. Die Lehre von den Krystallen ist daher nicht bloß der Mineralogie eigen, sondern sie bezieht sich auf alle krystallisierten Naturkörper, mögen diese in der Erdrinde vorkommen oder Produkte der Laboratorien, der Industrie darstellen oder zufällig im Bereiche menschlicher Wirkksamkeit oder auch in Organismen entstanden sein.

Der Inbegriff aller Kenntnisse von den Krystallen läßt sich als Krystallkunde bezeichnen, während man gewohnt ist, die Lehre von der Form dieser Bildungen als Krystallographie zu bezeichnen und jenen Teil, welcher sich mit den Gesetzen der Krystallbildung beschäftigt, als Krystallonomie hervorzuhoben. Die Krystallkunde würde außer der Krystallographie auch die Lehre von den physikalischen Eigenschaften und deren Beziehungen zu der chemischen Zusammensetzung der Krystalle umfassen.

Die Krystalle zeigen auf den Flächen fast immer eine gröbere oder feinere Zeichnung, welche gleichfalls mit dem inneren Baue übereinstimmt und ein wesentliches Merkmal der Echtheit der Flächen darbietet. Durch Spaltung erhält man aus Krystallen oder Individuen leicht ebenflächige Stücke, welche alle übrigen Eigenschaften der Krystalle mit Ausnahme der natürlichen, d. i. ursprünglichen Begrenzung haben. So kann man aus den Individuen von Calcit oder von Steinsalz leicht Spaltungskörper erhalten, welche Krystallen derselben Minerale täuschend ähnlich sind. Der Geübte vermag aber an dem Charakter der Flächen solche Körper leicht von Krystallen zu unterscheiden. Noch leichter gelingt dies bei Nachahmungen von Krystallen, z. B. aus Glas, ebenso bei Mineralen, an welchen ebene Flächen künstlich angeschliffen wurden.

Oft beobachtet man wahre Krystallformen, welche aber nicht das unmittelbare Ergebnis des Wachstums sind. Dieser Fall tritt ein, wenn der ursprünglich gebildete Krystall nachträglich eine Veränderung erfährt, welche entweder bloß seinen inneren Bau umgestaltet oder welche zugleich seine Substanz betrifft. Derlei veränderte Körper, an welchen die Substanz oder der innere Bau oder beides nicht mehr im Einklang mit der äußeren Form stehen, werden Pseudomorphosen genannt und werden begreiflicherweise nicht zu den Krystallen gerechnet.

Neuere Lehrbücher: H. Karsten, Lehrbuch der Krystallographie. Leipzig 1861. v. Lang, Lehrbuch der Krystallographie. Wien 1861. Groth, Physikalische Krystallographie. 3. Aufl. Leipzig 1895. Mallard, Traité de Cristallographie. Paris 1879, 1884. Liebisch, Geometrische Krystallographie. Leipzig 1881. — Physikalische Krystallographie. Leipzig 1891. — Grundriß der physikalischen Krystallographie, 1896. — A. E. H. Tutton, Crystallography. London 1911.

8. Bildung der Krystalle. Die Krystalle bilden sich beim Übergange der entsprechenden Substanzen aus einem beweglichen in den starren Zustand. Die beweglichen Zustände sind der gas- oder dampfförmige und der flüssige Zustand. Aus dem Wasserdampf entsteht bei der Abkühlung Schnee, welcher letztere aus kleinen Eiskrystallen zusammengesetzt ist. Geschmolzenes Wismut gibt beim Erstarren Wismutkrystalle. In den meisten Fällen bilden sich die Krystalle aus Lösungen, worin ein flüssiger Körper, das Lösungsmittel, einen oder mehrere andere Körper unter bestimmten Umständen in Lösung erhält. Jedes Lösungsmittel vermag bei einer bestimmten Temperatur bloß eine bestimmte Menge einer Substanz in Lösung zu erhalten. Die Lösung heißt sodann bezüglich dieser Substanz gesättigt. Die meisten Lösungsmittel vermögen bei höherer Temperatur mehr von einem Körper aufzulösen als bei niederer Temperatur, die Krystallbildung erfolgt sodann bei der Abnahme der Temperatur. Eine Lösung von Salpeter in Wasser, welche bei 30° C gesättigt ist, wird beim Abkühlen auf 20° Krystalle

absetzen. Auch durch Verminderung des Lösungsmittels müssen sich Krystalle bilden. Eine gesättigte Lösung von Alaun in Wasser liefert beim Verdampfen des Wassers Alaunkrystalle. Oft entstehen Krystalle in Lösungen durch das Zusammentreffen von Stoffen, deren jeder für sich unter den gleichen Umständen keine Krystalle absetzt. Eine ungesättigte Lösung von Bittersalz, welche mit einer ungesättigten Lösung von Chlorealcium zusammentrifft, gibt Krystalle von Gyps. In diesem Falle ist aber eine chemische Veränderung die Ursache der Krystallbildung, indem ein neuer Körper entsteht, welchen die Flüssigkeit nicht in solcher Menge aufgelöst zu erhalten vermag. Durch die letzte Art der Bildung lassen sich viele Krystalle darstellen, welche sonst nur als Minerale in den Spalten und Hohlräumen zu finden sind, wie z. B. Krystalle von Baryt, von Weißbleierz.

Die Krystalle bilden sich in der Natur entweder schwebend, wenn sie während ihrer Entstehung von einem beweglichen Medium getragen werden, welches ihnen zugleich den Zufluß von Stoff beim Wachsen gestattet, oder sie bilden sich sitzend, wofern sie einerseits auf einer starren Unterlage ruhen, auf der anderen Seite aber sich nach dem Raum hin ausbilden, welcher mit dem beweglichen Medium erfüllt ist.

Beispiele schwebend gebildeter Krystalle sind der Schnee, welcher in der Luft krystallisiert, die Krystalle von Pyrit, welche sich im Ton bilden. Beim Fortwachsen kommen derlei Krystalle bisweilen zur gegenseitigen Berührung oder sie sinken zu Boden, worauf sie ihre frühere Ausbildung meistens wieder verlieren. Beispiele sitzend gebildeter Krystalle sind die Bergkrystalle und Adularkrystalle auf Spalten im Gneis, die Calcitkrystalle auf Klüften im Kalkstein oder Sandstein. Die sitzenden Krystalle (aufgewachsenen Krystalle) sind also in den Spalträumen der Gesteine zu Hause, die schwebend gebildeten sind mitten im Stein eingeschlossen anzutreffen.

Aufgewachsene Krystalle erhält man leicht, wofern eine Lösung in einer Schale dem Verdunsten ausgesetzt wird. Um schwebend gebildete zu erhalten, kann man die Lösung mit einem gelatinösen Körper wie Leim in solcher Menge versetzen, daß die entstandenen Krystalle nicht zu Boden sinken. Krystalle werden sich auch rundum ausbilden, wenn man das die Lösung enthaltende Gefäß in fortwährender Bewegung erhält oder wenn man kleine Krystalle an einem Haar oder feinen Draht befestigt in die Lösung hängt. Man vermag nach erlangter Übung auf solche Weise ungemein schöne und vollkommene Krystalle darzustellen und Krystallsammlungen anzulegen, welche oft dasjenige weit überholen, was uns die Natur bietet. Freilich gelingt es nur bei jenen Körpern leicht, welche sich in größeren Mengen in Wasser lösen, so daß man mit gesättigten wässerigen Lösungen operiert. Dagegen ist es bei vielen anderen Substanzen, die als Minerale vorkommen, ungemein schwierig, sie als Krystalle künstlich zu erhalten, in vielen Fällen ist es überhaupt nicht gelungen. Wir sehen hier einen ähnlichen Fall wie bei dem Gärtner, welcher im Freien bloß eine bestimmte Zahl von Gewächsen zu ziehen vermag, deren Fortkommen das Klima gestattet und welcher auch im geschützten Raume wieder nur eine beschränkte Zahl zur Entwicklung zu bringen im stande ist. Innerhalb dieser Grenzen aber bringt er oft Erscheinungen hervor, welche über das durch die freie Natur Gebotene hinausgehen.

9. Das Wachsen. Die Krystalle sind häufig schon im ersten Augenblicke, da wir sie wahrnehmen, so beschaffen wie später, da sie an Umfang schon bedeutend zugenommen haben. Das Wachsen besteht hier bloß in einer gleichförmigen Anlagerung des Stoffes, welcher aus dem beweglichen Zustande in den starren übergeht. Diese Gleichförmigkeit ist der Aufbau ganz gleichartiger Schichten, denn der große Krystall hat seine Flächen parallel jenen, welche der kleine, junge Krystall zeigte und hat ebenso scharfe Kanten und Ecken wie dieser, Fig. 1. Nimmt man aus einem Krystall ein beliebiges Teilchen heraus und läßt dasselbe wachsen, so wächst es zu einem vollständigen Krystall heran und jener Splitter liegt darin ebenso orientiert, wie er im alten Krystall orientiert war, Fig. 2.

Demnach besitzt jedes Teilchen des Krystalls die Eigenschaft, gleichartigen Stoff anzuziehen und in derselben Ordnung anzulagern, die ihm selbst eigen ist.

Läßt man ein rundliches Bruchstück oder eine aus einem Krystall durch Schleifen hergestellte Kugel wachsen, so bemerkt man, daß das Wachsen in den Richtungen senkrecht zu den sich entwickelnden Flächen langsamer erfolgt als in den Richtungen gegen die Kanten und Ecken. Die Normalen der Krystallflächen sind somit Richtungen kleinster Wachstumsgeschwindigkeit.

Fig. 1.

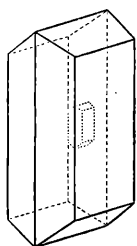


Fig. 2.

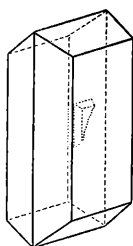


Fig. 3.

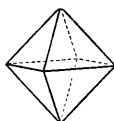
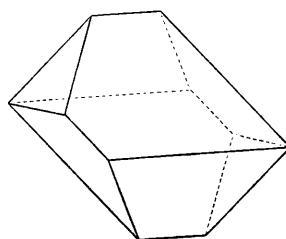


Fig. 4.



Beim Wachsen ereignen sich oft Umgestaltungen der früheren Krystallform. Die erste Art der Veränderung beruht darauf, daß die Krystalle auf einer Fläche die Schichten rascher auflagern als auf einer anderen. Läßt man Alaunkrystalle von der Form in Fig. 3 fortwachsen, so ereignet es sich öfter, daß dieselben später die Gestalt in Fig. 4 darbieten. An diesen größeren Krystallen erscheinen demnach die Flächen in gleicher Lage und Anzahl wieder, aber sie sind durch den Ansatz der Schichten parallel zu ihrer früheren Lage nach außen verschoben, und zwar in ungleichem Maße. Die neue Form erscheint verzerrt.

Die neuen Flächen haben häufig nicht mehr dieselbe Form wie vorhin, was aber konstant bleibt, sind die Wachstumsrichtungen. Während des Wachsens bleiben diese Richtungen unverändert, während die Wachstumsgeschwindigkeit variieren kann. Den größten Flächen entspricht die geringste Wachstumsgeschwindigkeit.

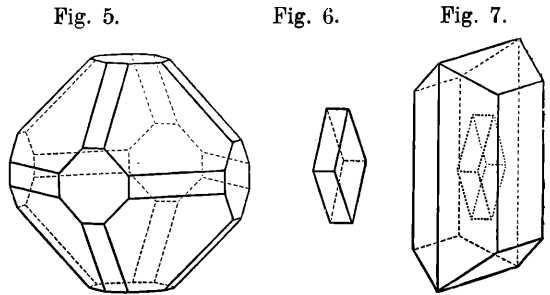
Eine zweite Art der Veränderung, die beim Wachsen oft eintritt, besteht darin, daß entweder Flächen auftreten, die früher in dieser Lage nicht vorhanden waren oder daß umgekehrt früher vorhandene Flächen allmählich verschwinden.

Dadurch geschehen bisweilen Formveränderungen, die zu einer ganz neuen Gestalt führen. So bemerkt man unter Umständen an Alaunkrystallen, welche die Form eines regelmäßigen Oktaeders haben wie in Fig. 3, beim Fortwachsen die allmähliche Abstumpfung der Ecken und Kanten durch neue Flächen, Fig. 5.

Hier entwickeln sich zwischen den schon vorhandenen Richtungen kleinster Wachstumsgeschwindigkeit neue derartige Richtungen, in denen das Wachsen nunmehr gegen den früheren Zustand verzögert ist.

Barytkrystalle haben öfters in der ersten Zeit die Form von rhombischen Tafeln, Fig. 6, wachsen aber später zu säulenartigen Krystallen aus. An größeren Barytkrystallen sieht man zuweilen

die Form des ersteren Krystalles im Innern ganz deutlich, Fig. 7. Zwei Flächen des kleinen Krystalles zeigen sich in paralleler Wiederholung an dem größeren Krystall, im übrigen aber sind neue Flächen hinzugekommen. Diese Wahrnehmungen zeigen, daß außer den beobachteten Flächen an demselben Krystall auch noch andere Flächen vorkommen können.



Die Kenntnis der Formen umfaßt also nicht nur die vorhandenen, sondern auch die möglichen Flächen eines Krystalles.

Wenn beim Wachsen der Krystalle neue Flächen auftreten, so geschieht dieses im allgemeinen in der Weise, daß die ursprünglich vorhandenen und die neu hinzukommenden Flächen durch den Parallelismus ihrer Kanten verbunden erscheinen. Die Oktaederfläche in Fig. 5 bildet mit dem neuentstandenen achtseitigen wie auch mit den rechteckigen Flächen parallele Kanten, und die beiden letzteren sind wiederum durch parallele Kanten verbunden. Auch an den Barytkrystallen wird dies erkennbar, wenn die neuen Flächen zahlreicher sind als in Fig. 7. Da man sich nun jeden flächenreicheren Krystall durch das Wachsen eines einfach geformten entstanden denken kann, so ergibt sich, daß an jedem flächenreicheren Krystall die Flächen durch Kantenparallelismus verbunden sind, ob dies nun sogleich erkennbar ist oder nicht. Außerdem zeigt sich beim Wachsen, daß die ursprünglich vorhandenen Kanten oder Ecken, welche ihrer Lage und Beschaffenheit nach einander gleich sind, durch die hinzukommenden Flächen auch in gleicher Weise verändert werden, ferner wird beim Verschwinden der Flächen die Regel befolgt, daß von den früher vorhandenen Flächen diejenigen, welche untereinander gleich sind, auch zugleich verschwinden. Diese Erscheinung wird die Erhaltung der Symmetrie genannt. An dem Alaunkrystall in Fig. 3 haben sich beim Fortwachsen an der Stelle aller 6 Ecken, welche gleich sind, 6 Flächen in gleicher Lage gebildet, ebenso sind an Stelle der 12 Kanten, die untereinander gleich waren, 12 neue untereinander gleiche Flächen getreten, Fig. 5.

Der Barytkrystall in Fig. 6 hat beim Wachsen seine Form dadurch verändert, daß die vier schmalen Flächen, welche untereinander gleich waren, verschwanden,

während neue Flächen auftraten, welche gegen die gleichen Ecken auch gleich gelagert sind, Fig. 7.

Man erkennt also durch die Betrachtung der Wachstumserscheinungen, daß bei dem Wachsen der Krystalle bald eine parallele Verschiebung der Flächen gegen außen stattfindet, bald eine Vermehrung oder Verminderung der Flächenzahl, aber unter Beibehaltung der früheren Regelmäßigkeit der Form eintritt, und man wird außerdem zu dem Schlusse geführt, daß die Lage der früheren und der neuen Flächen einen gesetzmäßigen Zusammenhang darbietet.

Literatur: Frankenheim, Pogg. Ann. Bd. 111, pag. 1. C. v. Hauer, Verhandl. d. geolog. Reichsanstalt, 1877, pag. 45, 57, 75, 90, 162, 269. 1878, p. 185, 315. 1880, p. 20, 181. Scacchi, Pogg. Ann. Bd. 109, p. 365. Knop, Molekularkonst. u. Wachstum d. Krystalle 1867. O. Lehmann, Die Krystallanalyse, Leipzig 1891. Vater, Zeitschr. f. Kryst. Bd. 21, p. 431. Wulff, ebendas. Bd. 34, p. 449. Brauns, Chemische Mineralogie, p. 117. C. Viola, Grundzüge der Krystallographie, 1904. F. Becke, Lotos, 1894, p. 1.

10. Gesetzmäßigkeit der Form. Die Formen, die an Krystallen beobachtet werden, entsprechen allgemeinen Gesetzen, gemäß welchen ihnen ein bestimmter Charakter zukommt, ferner eine Regelmäßigkeit der Gestalt, die bald weniger auffällig ist und nur ziffermäßig erwiesen werden kann, bald so deutlich wird, daß sie eine Wiedergabe jener Formen darbietet, welche die Geometrie als reguläre Körper bezeichnet. Diese Bestimmtheit und Regelmäßigkeit herrscht auch in der inneren Beschaffenheit der Krystalle, da die Form nur der Ausdruck des bei der Bildung des Krystalles vorhandenen stofflichen Gleichgewichtes ist. Die Gesetzmäßigkeit der Form ist nun von dreierlei Art:

1. Beständigkeit der Flächenwinkel.
2. Das Zonengesetz, in anderer Form Parametergesetz genannt.
3. Die Symmetriegesetze.

Diese hängen wieder so zusammen, daß das erste die Grundlage aller Bestimmtheit bildet, das zweite alle im Bereiche der Krystalle vorkommenden Formen umfaßt und daß eines der Symmetriegesetze an jedem zugehörigen Krystall ausgesprochen erscheint.

11. Konstanz der Winkel. Die Wahrnehmungen bei der Bildung und dem Wachsen der Krystalle zeigen, daß die einmal gebildeten Flächen bei der Vergrößerung zwar verschiedene Gestalt annehmen können, daß aber ihre gegenseitige Lage dieselbe bleibt. Demgemäß sind auch die Krystalle desselben Minerals oft verschieden gestaltet, aber es gelingt sehr häufig, an den Formen, welche im ersten Augenblicke sehr ungleich aussehen, Flächen und Kanten zu finden, welche die gleiche Lage haben. In den Figuren 8 und 9, welche Quarzkrystalle vorstellen, sind die Flächen gleicher Lage mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Die gegenseitige Lage zweier Flächen, welche in einer Kante zusammen treffen, bestimmt sich dadurch, daß in einem Punkte der Kante zwei Senkrechte s und s' errichtet werden, deren jede in einer der Flächen liegt, Fig. 10 und 11. Diese beiden Linien bilden den Flächenwinkel, und zwar gegen das Innere des Krystalles den Winkel w . Durch Verlängerung einer der beiden Linien ergibt sich der Außenwinkel v . Dieser, zum vorigen addiert, gibt 180°, die beiden Winkel

v und w sind supplementär. Der Außenwinkel v ist für die Abweichung zweier Flächen charakteristisch, da er klein ist, wenn die beiden Flächen am Krystall wenig abweichen, also die Kante stumpf ist, und da er Null wird, wofern beide Flächen in dieselbe Ebene fallen.

An den Krystallen desselben Mineralen geben die gleichliegenden Flächen immer denselben Winkel. So sind an allen Quarzkristallen die äußeren Flächenwinkel $r : z = 46^{\circ} 16'$ und $r : a = 38^{\circ} 13'$. Inwiefern kleine Abweichungen von solcher Konstanz stattfinden können, wird sich im Späteren ergeben.

Fig. 8.

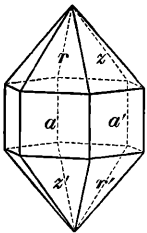


Fig. 9.

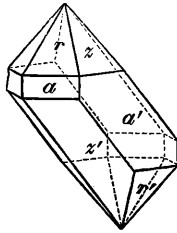


Fig. 10.

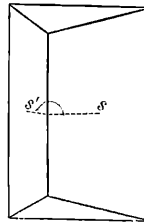
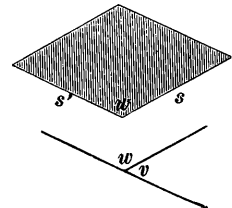


Fig. 11.



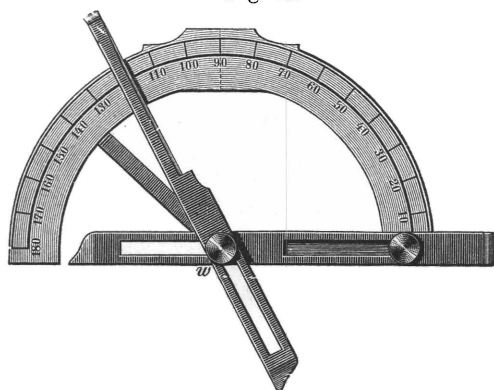
Die Lehre von der Beständigkeit der Flächenwinkel, von welcher hier die Rede ist, wurde schon im XVII. Jahrhundert von Steno aus Beobachtungen über das Wachsen von Krystallen verschiedener Salze und durch die Wahrnehmungen am Bergkrystall (Quarz) abgeleitet, von Romé de l'Isle durch zahlreiche Messungen mit dem Handgoniometer bestätigt. Durch Temperaturänderungen werden die Winkel der meisten Krystalle verändert, jedoch ist der Betrag so gering, daß er hier außer Betracht bleiben darf.

Krystallformen, deren Flächen so entwickelt sind, daß sie ungefähr gleichweit von dem Mittelpunkte des Krystalles abstehen, heißen ebenmäßig ausgebildete. An diesen sind oft mehrere Flächen von gleicher Form und gleicher Größe, wodurch die Regelmäßigkeit der ganzen Gestalt augenfällig wird. Wenn hingegen die Flächen der Krystalle von dem Mittelpunkte sehr ungleich entfernt sind, so verschwindet jene Gleichheit und Regelmäßigkeit und man hat verzogene oder verzerrte Formen vor sich. Fig. 8 stellt eine ebenmäßig ausgebildete, Fig. 9 eine verzerrte Form des Quarzes dar. Um die Gesetzmäßigkeit der Gestaltung auch bei verzerrten Formen leichter zu erkennen, denkt man sich die Flächen, bei denen dies erforderlich ist, parallel zu ihrer ursprünglichen Lage verschoben, bis die Forderung der Ebenmäßigkeit erfüllt ist. Die in der Natur vorkommenden Krystallformen werden in solcher Weise idealisiert. Bei dem Unterrichte geht man immer von derlei idealen Formen aus. Die Zeichnungen, welche Krystalle darstellen, sowie die Krystallmodelle stellen daher in der Regel idealisierte Formen dar.

12. Krystallmessung. Die Neigung zweier Krystallflächen gegeneinander wird durch Anwendung von Instrumenten bestimmt, welche Goniometer genannt werden. Für beiläufige Messungen an großen Krystallen dient das Anlegegoniometer oder

Kontaktgoniometer, auch Handgoniometer genannt, Fig. 12, welches aus zwei scherenartig in einem Punkte verbundenen Linealen oder Schienen, ferner aus einem getheilten Halbkreis besteht. Bei der Anwendung hat man darauf zu achten, daß die Ebene der Schienen auf der Kante senkrecht stehen müsse. Der Halbkreis ist entweder von den Schienen getrennt oder mit denselben fest verbunden. Die

Fig. 12.



Genauigkeit, welche bei solchen Messungen erreicht werden kann, geht nicht über einen halben Grad. Mit diesem Instrumente hat auch Haüy, der Begründer der Krystallographie, seine Messungen ausgeführt.

Genauere Messungen erlauben die Reflexionsgoniometer, deren einfachste Form zuerst 1809 von Wollaston angegeben wurde. Bei Anwendung derselben wird die Spiegelung der Krystallflächen benützt, indem zuerst auf der einen, dann auf der anderen Fläche dieselbe Re-

flexion eingeleitet und nachher die hierzu nötig gewesene Drehung des Krystalles an einem getheilten Vollkreis abgelesen wird. Wenn der Krystall, Fig. 13, zuerst mit der einen Fläche kl spiegelt, so wird der von L kommende Lichtstrahl von dieser Fläche nach dem Auge O reflektiert. Wird hierauf der Krystall um die

Fig. 13.

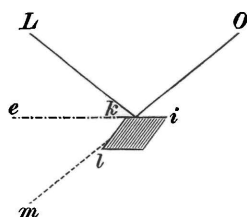
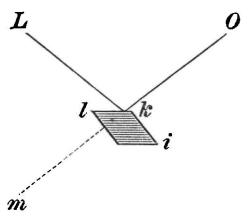
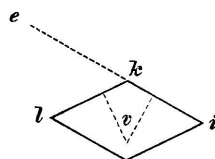


Fig. 14.



Kante k so weit gedreht, bis der Lichtstrahl von der Fläche ik reflektiert wird und denselben Weg nach O nimmt wie vorher, so ist der Krystall um den Winkel ekl gedreht worden, und dieser Winkel wird an dem Instrumente abgelesen.

Während nun ikl der innere Winkel ist, wie er allenfalls durch das Handgoniometer bestimmt würde, ist der hier gemessene Winkel ekl der äußere Winkel. Mittels des Reflexionsgoniometers erhält man demnach immer den Außenwinkel.

Wenn man von dem Inneren des Krystalles her senkrechte Linien auf die beiden Flächen lk und ik fällt, so schließen diese beiden Linien einen Winkel v ein, welcher dem Winkel ekl gleich ist, Fig. 14. Der durch Reflexion erhaltene Winkel ist daher zugleich der Normalenwinkel der gemessenen Kante.

Damit der Lichtstrahl beide Male denselben Weg nehme, wird nicht nur der gespiegelte Gegenstand oder die gespiegelte Lichtflamme L unverändert

bleiben, sondern auch das Auge bei *O* am selben Orte verharren müssen. Um letzteres zu erreichen, wird man von vornherein in der Richtung des reflektierten Strahles bei *m* eine Marke anbringen, so daß das Auge bei der ersten und bei der zweiten Beobachtung sowohl die Marke *m* als auch den reflektierten Strahl in derselben Richtung sieht, also Reflexbild und Marke einander deckend erblickt. Anstatt der Lichtflamme kann man auch einen passenden Gegenstand zur Reflexion benutzen. Anstatt also im Dunkeln zu arbeiten, kann man auch im vollen Tageslichte messen. In jedem Falle muß darauf geachtet werden, daß die Entfernung des benutzten Objektes nicht zu gering sei, weil sonst die Richtung des auf die Krystallfläche einfallenden Strahles bei der ersten und zweiten Beobachtung nicht die gleiche ist.

Fig. 15.

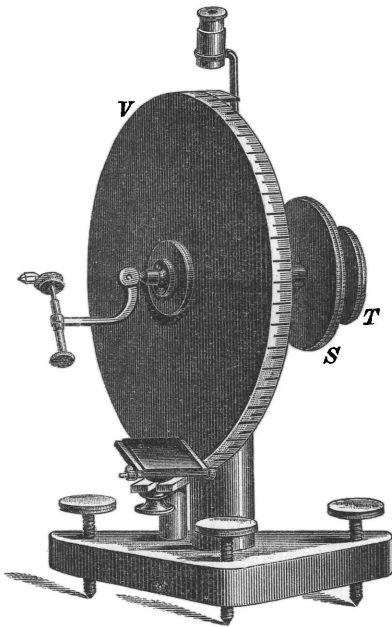
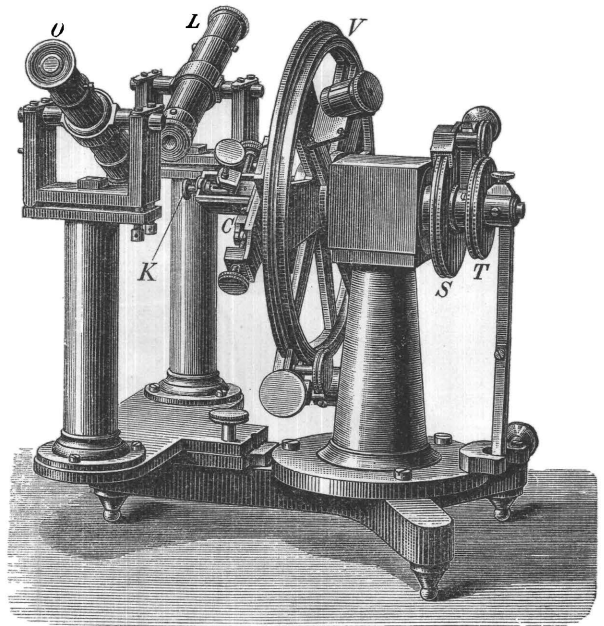


Fig. 16.



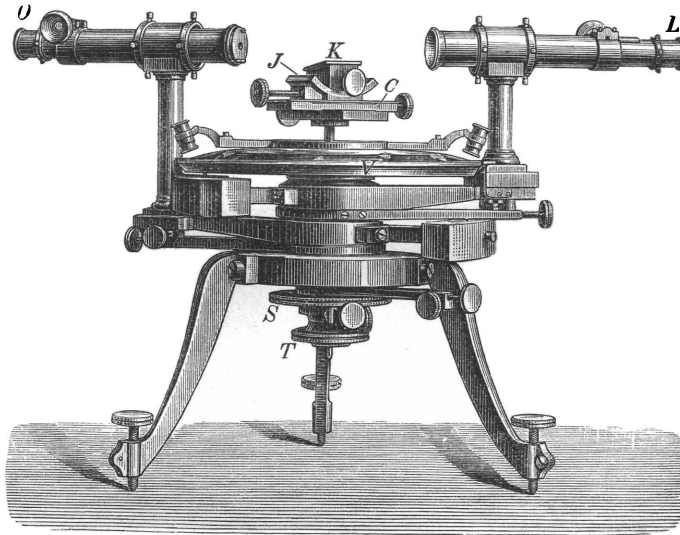
woraus ein merklicher Fehler entsteht. Hat der Krystall sehr glatte Flächen, so kann man ein fernes Objekt, wie z. B. eine Turmspitze, als Signal verwenden, bei minder guten Flächen begnügt man sich damit, auf die Grenzen der Fensterbalken etc. einzustellen.

An dem Wollastonschen Goniometer, Fig. 15, hat man eine sehr einfache, mit freier Hand stellbare Vorrichtung, um den daran geklebten Krystall so zu drehen und zu verschieben, daß die zu messende Kante möglichst genau in die Verlängerung der Drehungsaxe des Instrumentes fällt. Häufig dient ein kleiner Spiegel mit eingerissenen Linien als Marke und zugleich als Visur, um die Einstellung des Krystalles zu erleichtern. In den gegenwärtig gebrauchten verbesserten Instrumenten, Fig. 16 und 17. geht das einfallende Licht durch ein Einlaßrohr *L* (Kollimator). In diesem befindet sich bei *L* ein Fadenkreuz oder eine durch-

brochene Platte (Signal), welche durch eine kräftige Lichtquelle erleuchtet wird. Das Signal steht im Brennpunkt einer am unteren Ende des Kollimators befindlichen Konvexlinse, so daß das vom Signal kommende Licht als ein Bündel paralleler Strahlen weitergesandt wird. Sodann wird es von der Krystallfläche reflektiert und gelangt in das kleine, auf parallele Strahlen eingestellte astronomische Fernrohr *O*, in welchem ein Fadenkreuz angebracht ist. Bei richtiger Einstellung der Krystallfläche sieht der Beobachter das Signal auf der Mitte des Fadenkreuzes, das statt der Marke dient. Instrumente mit Fernrohren wurden zuerst von Mitscherlich und von Babinet angegeben.

An diesen ist der Vollkreis oder Limbus *V* etwas größer und mit einer feinen Teilung versehen, ferner mit einer Handhabe *S* verbunden, mittels welcher er gedreht werden kann. Bei der Drehung nimmt er auch die durch ihn gesteckte

Fig. 17.



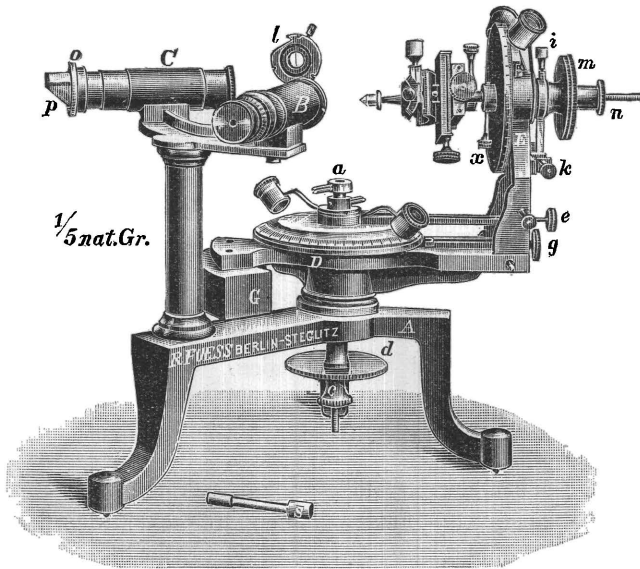
Axe mit, so daß sich die Axe mit ihm gleichzeitig dreht. Letztere ist aber auch mittels der Handhabe oder Scheibe *T* für sich und unabhängig vom Limbus drehbar.

Wie schon aus dem Früheren ersichtlich ist, muß die Ebene, in welcher sich der einfallende und reflektierte Lichtstrahl bewegt, dem Limbus parallel sein, demnach ist die durch Kollimator *L* und Fernrohr *O* gedachte Ebene parallel mit der Limbusebene. Die zu messende Kante des Krystalles muß zur Limbusebene senkrecht sein. Dies zu erreichen, benutzt man den Apparat bei *J*, welcher dazu dient, den bei *K* aufgeklebten Krystall zu justieren. Die Kante muß ferner in der Verlängerung der Axe liegen. Die hierzu nötige Schiebung erlaubt der Schlittenapparat bei *C*, welcher dazu dient, den Krystall zu zentrieren. Ist der Krystall einmal justiert, so kommen alle Flächen, die miteinander direkt oder nach ihrer Vergrößerung parallele Kanten bilden, durch Drehen der Axe nacheinander zur

Reflexion und es bedarf nur der Zentrierung der einzelnen Kanten, um die gegenseitige Neigung aller dieser Flächen zu bestimmen.

Gegenwärtig sind zweierlei Reflexionsgoniometer im Gebrauche, nämlich solche mit vertikalem Limbus, wie in Fig. 16, und solche mit horizontalem Limbus, Fig. 17. Die Genauigkeit, welche bei der Messung erreicht werden kann, geht bis in die Sekunden, wofern das Instrument vorher sorgfältig geprüft worden ist. Die Reflexion der Krystallflächen ist aber selten eine so vollkommene, daß die Erreichung jener Grenze möglich wäre, und man begnügt sich daher gerne mit einer Genauigkeit, die bis auf eine Minute geht. Zur Messung nimmt man kleine Krystalle, weil diese im allgemeinen glattere Flächen haben als die

Fig. 18.



großen und leichter zu behandeln sind. Die Messungen werden wiederholt und wird das arithmetische Mittel mehrerer gleich sorgfältiger Messungen als Endresultat benutzt.

In neuerer Zeit sind auch Reflexionsgoniometer mit zwei Teilkreisen, sogenannte Theodolithgoniometer (von Goldschmidt und Fedorow in Vorschlag gebracht), in Gebrauch gekommen. Ein solches Instrument ist in Fig. 18 abgebildet. Mit dem horizontalen Vollkreis steht ein zweiter, ein vertikaler, in Verbindung, der auf der Platte *D* ruht und durch das Metallstück *G* im Gleichgewicht erhalten wird. *D* umfaßt die Axe des horizontalen Teilkreises und ist samt dem vertikalen Limbus um diese drehbar. Der Vertikalkreis läßt wie jener des Wollastonschen Goniometers eine mittels der Handhabe *n* drehbare Axe durch. Diese trägt einen Schlittenapparat, eine Justiervorrichtung und am Ende den Krystall. Das Licht fällt durch den Kollimator *C* ein, aber nicht direkt, sondern nach einer totalen Reflexion in einem Glasprisma *p* von 45° , welches drehbar ist, so daß das Licht

von einer seitlich oder oberhalb angebrachten Flamme genommen werden kann. Das Beobachtungsfernrohr B ist mit dem Kollimator fix verbunden. Es ist wie gewöhnlich mit einer Vorschlaglupe l versehen, um den Krystall beim Justieren und Zentrieren sehen zu können. Mittels der beiden Teilkreise kann man die gegenseitige Lage aller Flächen bestimmen und es ist dazu nur die einmalige Justierung in bezug auf den vertikalen Limbus erforderlich.

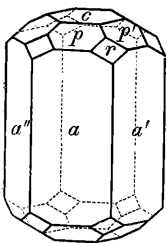
Geht man von einer Fläche aus, die mit anderen parallele Kanten bildet, so ergeben sich durch Messung mittels des eines Teilkreises die Winkeldistanzen aller dieser Flächen von der zuerst genannten. Diese Distanzen sind Längen, wenn die Ebene, in der sich der Teilkreis jetzt bewegte, als Äquatorialebene bezeichnet wird. Man kann hierauf mittels des zweiten Teilkreises die Winkeldistanzen aller übrigen Krystallflächen vom Äquator bestimmen und man erhält für jede Flächennormale die entsprechende Breite. So bestimmt sich für jede Flächennormale die Position durch Ermittlung der Länge und Breite wie für die einzelnen Punkte an der Erdkugel oder am Himmelsglobus. Aus diesen Positionen können die nicht gemessenen Winkel der Flächennormalen berechnet werden.

Literatur: Über die Theorie des Reflexionsgoniometers: Kupffer, Handbuch der rechnenden Krystallogonomie. Petersburg 1831. Websky, Zeitschrift für Krystallographie, Bd. IV, S. 545. Liebisch, Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente der Berliner Gewerbeausstellung. 1880. Groth, Physikalische Krystallographie. 1895. Abt. III. Über Theodolithgoniometer: Goldschmidt, Zeitschrift für Krystallographie, Bd. XXI, S. 210. Fedorow, ebenda. S. 574. Leiß, Mitteilungen aus der Fuesschen Werkstätte. Jahrbuch der Mineralogie, 1896, 1897 u. ff.

Anstatt die Flächenwinkel zu messen, kann man auch die ebenen Winkel der Kanten bestimmen. Dies wird bei Krystallen, welche bloß unter dem Mikroskope wahrgenommen werden, besonders zu empfehlen sein, obgleich die erhaltenen Resultate immer nur einen geringeren Grad von Genauigkeit haben können.

13. Zone. Die Flächen der Krystalle treffen in Kanten und Ecken zusammen, die Kanten sind zweiflächig, die Ecken können drei- oder mehrflächig sein. An einem vollständig ausgebildeten Krystall steht die Anzahl der Flächen F , der Ecken E und der Kanten K in einem Zusammenhange, welcher aus der Stereometrie bekannt ist und durch die Gleichung $F + E = K + 2$ ausgedrückt wird.

Fig. 19.



Was an Gesetzmäßigkeit der Form zuerst in die Augen fällt, ist die Erscheinung, daß die Flächen des Krystalles häufig in parallelen Kanten zusammentreffen. Die Gesamtheit der Flächen, welche direkt oder nach ihrer Vergrößerung parallele Kanten bilden, heißt eine Zone. An demselben Krystall sind gewöhnlich mehrere Zonen zu erkennen. Ist eine derselben stärker entwickelt als die anderen, so erscheint der Krystall säulenförmig. Die Flächen derselben Zone, die tautozonalen Flächen, sind alle einer Linie parallel, welche innerhalb des Krystalles gedacht wird und Zonenaxe heißt. Man kann eine Zone durch den Parallelismus der Kanten unmittelbar erkennen oder mittels des Reflexionsgoniometers nachweisen, weil, nachdem zwei Flächen richtig eingestellt sind, alle übrigen Flächen der Zone beim Drehen der Axe Spiegelbilder geben.

Da zwei Flächen, welche sich schneiden, die Lage einer Kante angeben, so ist eine Zone ihrer Lage nach bestimmt, sobald zwei Flächen derselben angegeben werden, die nicht parallel sind. An dem in Fig. 19 dargestellten Beryllkrystall bilden die Flächen a, a', a'' eine Zone, ferner die Flächen a, p, c eine andere Zone. Man sagt, p liege in der Zone $a c$ oder a liege in der Zone $p c$ oder c liege in der Zone $a p$.

Wenn eine Fläche gleichzeitig in zwei bekannten Zonen liegt, also dort, wo zwei bekannte Zonen einander durchschneiden, so ist dadurch die Lage jener Fläche mit Sicherheit bestimmt. In Fig. 19 liegt die Fläche r gleichzeitig in der Zone $p a'$ und in der Zone $p' a$. In dieser Lage kann nur eine einzige Fläche vorkommen. Sind demnach die Flächen a, a' , ferner p, p' bezüglich ihrer Lage bekannt, so ist nunmehr die Lage von r unzweifelhaft bestimmt.

Der Begriff der Zone oder des Flächenbüschels wurde zuerst von Chr. S. Weiß in der Übersetzung des Hauyschen Lehrbuches 1804 aufgestellt. Der Parallelismus der Kanten und die Verbindung der Flächen durch Zonen wurde schon als eine beim Wachsen der Krystalle beobachtete Erscheinung angeführt.

14. Zonengesetz. Die Lage einer Fläche wird so beschrieben, daß angegeben wird, wie dieselbe zu anderen Flächen geneigt ist. Dies kann durch Anführung der Flächenwinkel oder auch so erfolgen, daß zwei Zonen genannt werden, in denen die Fläche gelegen ist, setzt aber voraus, daß die Lage von vier Flächen bekannt ist, welche jene zwei Zonen angeben. Diese Flächen müssen so verteilt sein, daß nicht drei derselben in einer Zone liegen. Dieselbe Art der Verteilung wird erhalten, wenn man von dem Begriffe des einfachsten Körpers ausgeht. Der denkbar einfachste, von ebenen Flächen begrenzte Körper ist aber ein vierflächiger, denn zur Begrenzung eines Raumes sind mindestens vier Flächen erforderlich.

An einem Krystall stehen die Flächen in einem solchen Verhältnis der Lage, daß alle ferneren Flächen sich von vier Flächen der genannten Art ableiten. Die Zonen, welche von diesen angegeben werden, führen auf die Lage einer fünften, sechsten Fläche u. s. w. Diese liefern wiederum neue Zonen, deren Durchkreuzungen zu ferneren Flächen leiten. Diese können am selben Krystall vorhanden oder an demselben mögliche Flächen sein.

An dem Albitkrystall, Fig. 20, sind die Flächen P, M, T, o so verteilt, daß nicht drei derselben in einer Zone liegen, sie sind also zur Ableitung geeignet. Diese gelingt sogleich für die Fläche l , die in den Zonen MT und oP liegt. x ist hier nicht vollständig ableitbar, wohl aber, wenn auch andere am Albit mögliche Flächen in Betracht genommen werden. Die Fig. 21 und 22 zeigen Formen anderer Albitkrystalle, an denen die Flächen v, y, n auftreten. Nunmehr ergibt sich, daß

Fig. 20.

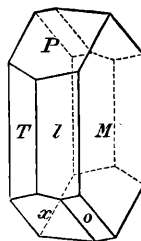


Fig. 21.

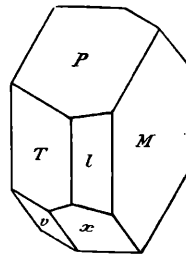
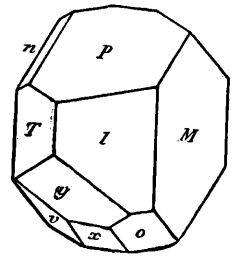


Fig. 22.



die Fläche v durch die Zonen PT und oM bestimmt ist, Fig. 21 und 22
 " " y " " oT " lv " " " 22
 " " x " " " Py " ov " " " 22
 " " n " " " PM " Ty " " " 22

wonach alle an den drei Krystallen beobachtete Flächen von den vier Flächen P, M, T, o abgeleitet werden. Man kann aber auch von anderen vier geeignet liegenden Flächen, wie l, o, v, T , ausgehen und wird alle übrigen durch Zonen ableiten können.

Dieser Zusammenhang gilt allgemein. Die Lage der Flächen entspricht dem Zonengesetze, indem dieselben von vier Flächen, die nicht zu dreien in einer Zone liegen, abgeleitet werden können. Der allgemeinste Ausdruck des Zonengesetzes lautet: Die Flächen desselben Krystalles und aller Krystalle derselben Art stehen miteinander im Zonenverbande.

Das Zonengesetz und der Zusammenhang mit dem sogleich zu erwähnenden Parametergesetze wurden zuerst von F. E. Neumann (De lege zonarum, 1826) erkannt, die Ableitung von vier Flächen durch Möbius entwickelt, s. Liebisch, Geom. Krystallographie, S. 10 und S. 30.

15. Axen. Parameter. Die gegenseitige Lage der Flächen an einem Krystall kann auch so geschildert werden, daß man wiederum von vier Flächen ausgeht, die nicht zu dreien in einer Zone liegen und nun ein Verfahren anwendet, welches

Fig. 23.

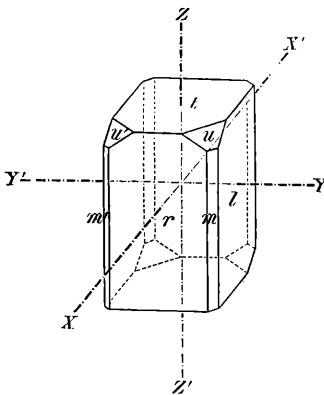


Fig. 24.

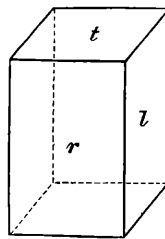
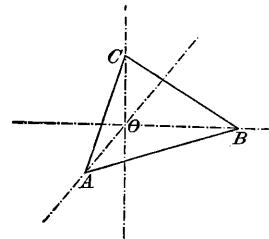


Fig. 25.



der analytischen Geometrie entnommen ist. Dieser gemäß wählt man drei Krystallflächen aus, welche so liegen, daß sie entweder direkt oder nach ihrer Vergrößerung ein Eck bilden, und denkt sich jede derselben parallel mit ihr selbst in das Innere des Krystalles verschoben. Diese Ebenen werden sich hier in drei Geraden schneiden, die sich in demselben Punkte treffen. Diese Geraden werden Axen, speziell Krystallaxen genannt. Da sie Krystallkanten parallel sind, so entsprechen sie Zonenaxen. Wird hierauf die vierte der gewählten Flächen vergrößert gedacht, so bildet sie an den Axen Abschnitte, welche Parameter heißen. Wenn die übrigen Flächen des Krystalles ebenfalls vergrößert werden, so ergeben sich für

diese auch Abschnitte oder Parameter. Demnach läßt sich die Lage jeder Krystallfläche durch ihre Parameter, also durch Längen ausdrücken.

Die Beziehung der Krystallflächen auf Axen ist von C. S. Weiß und von Mohs eingeführt worden.

An dem Augitkrystall, Fig. 23, werden die Flächenpaare r , l , t ausgewählt, um die Axen zu erhalten. Wären diese drei Flächenpaare allein vorhanden, so hätte der Körper die Form in Fig. 24.

Denkt man sich nun in den ersteren Krystall parallel zu den genannten drei Flächen Ebenen gelegt, welche alle durch einen im Inneren liegenden Punkt gehen, so ergeben sich drei Durchschnittslinien dieser Ebenen, nämlich XX' , YY' und ZZ' , welche die Axen sind. Wenn die drei Axen, so wie in Fig. 25, besonders gedacht werden und die Fläche u vergrößert wird, so schneidet dieselbe die drei Axen in den Punkten A , B , C . Demnach sind die Stücke OA , OB und OC die Parameter der Fläche u .

Es ist ersichtlich, daß die langen Kanten in Fig. 23 den Axen parallel sind. Man kann daher auch sagen, die Axen werden erhalten, wenn man die drei Kanten, welche von den ausgewählten Flächen gebildet werden, parallel in den Krystall versetzt. Man kann also, anstatt von Ebenen auszugehen und deren Durchschnitte als Axen zu nehmen, auch kürzer verfahren und drei Kanten des Krystalles, welche einander nicht parallel sind, für die Bestimmung der Axenrichtungen wählen. Im vorliegenden Beispiele, Fig. 23, kann man also geradewegs damit beginnen, die Richtung der Kante zwischen t und l als Richtung der X -Axe anzunehmen und die Kante zwischen t und r für die Y -Axe, die Kante zwischen r und l für die Z -Axe zu benutzen.

Die Ebenen, welche in das Innere des Krystalles gelegt werden, um die Axen zu erhalten, werden Axenebenen genannt. Sie liegen, wie gesagt, Krystallflächen parallel. Es ist aber nicht notwendig, daß diese Flächen an dem Krystall, der beschrieben wird, sichtbar sind, aber sie müssen mögliche Flächen sein. Das Beispiel am Alaun hat gezeigt, daß an demselben nicht bloß die Oktaederflächen in Fig. 3, sondern auch Flächen möglich sind, welche die Ecken jener Form abstumpfen, Fig. 5. Diese abstumpfenden Flächen für sich gedacht, geben aber einen Würfel. Demnach können für die Formen des Alauns die Flächen des Würfels zur Ableitung der Axen dienen.

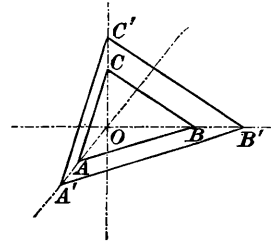
Bei der Beschreibung der Krystalle wird zuerst angegeben, wie die Axen gelagert sind und es werden zu diesem Zwecke die Winkel angeführt, welche die Axen miteinander bilden. Am Albit (s. die Fig. 20, 21, 22) betragen dieselben $94^{\circ} 3'$, $116^{\circ} 29'$, $88^{\circ} 9'$, in dem vorgenannten Augitkrystall 90° , $105^{\circ} 50'$, 90° . Wenn diese Winkel eine bestimmte unveränderliche Größe wie 90° oder 60° haben, werden sie nicht besonders angeführt.

Die Parameter werden in den Richtungen OX , OY und OZ positiv, in den Richtungen OX' , OY' und OZ' hingegen negativ gezählt. Werden die Parameter OA , OB und OC abkürzungsweise mit a , b , c bezeichnet, so wird die Lage der Fläche u in Fig. 23 durch die Parameter a , b , c , die Lage der Fläche u' hingegen durch die Parameter a , $-b$, c ausgedrückt, weil die letztere Fläche wohl

dieselben Abschnitte an den Axen hervorbringt wie u , jedoch der Abschnitt auf der Axe YY' auf dem negativen Aste derselben liegt.

Werden die Parameter einer Fläche mit derselben Zahl multipliziert, so erhält man die Parameter einer Fläche, welche mit der vorigen parallel ist. Entsprechen einer Fläche ABC die drei Parameter a, b, c , so sind die Parameter einer dazu parallelen Fläche $A'B'C'$ in Fig. 26 ra, rb, rc . Hier ist r größer als 1 angenommen, die Fläche erscheint herausgeschoben; würde r kleiner als 1, also z. B. $\frac{1}{3}$ angenommen, so erschiene die Fläche ebenfalls parallel verschoben, aber dem Durchschnittspunkt O näher gerückt, wäre r negativ, so läge die Fläche statt vorn auf der Rückseite des Krystalles.

Fig. 26.



Vergleicht man das Verhältnis, in welchem die Parameter der Fläche ABC stehen, mit jenem, welches einer dazu parallelen Fläche zukommt, so zeigt sich, daß beide gleich sind, weil

$$a:b:c = ra:rb:rc.$$

So gut wie die Krystallflächen parallel verschoben gedacht werden können, ohne daß ihre gegenseitige Lage sich verändert, ebenso darf demnach jedes Parameterverhältnis beliebig mit derselben Zahl multipliziert oder durch sie dividiert werden.

Eine zu ABC nicht parallele Fläche wird nicht $a:b:c$, sondern ein anderes Parameterverhältnis ergeben. Ein völlig anderes Verhältnis würde aber entstehen, wenn man jeden der drei Parameter mit einer anderen Zahl multiplizierte; z. B. $ma:nb:pc$.

16. Parametergesetz. Von den vier Flächen, welche das Axenverhältnis $a:b:c$ liefern, lassen sich, wie die Erfahrung lehrt, alle übrigen Flächen ableiten gemäß dem Parametergesetz, welches lautet:

Die Flächen, welche am selben Krystall auftreten oder an demselben möglich sind, haben immer nur solche Parameterverhältnisse, in welchen die Koeffizienten m, n, p als ganze Zahlen erscheinen, und zwar sind diese gewöhnlich einfache Zahlen wie 1, 2, 3, 4, 5, 6. Man drückt dieses Gesetz auch in der Weise aus, daß man sagt, das Verhältnis der Koeffizienten $m:n:p$ ist ein rationales. Wenn einer Fläche des Krystalles das Parameterverhältnis:

$$a : b : c \text{ zukommt, so hat z. B.}$$

eine andere Fläche das Verhältnis $a : b : 2c$

„ dritte „ „ „ $a : 2b : c$

„ vierte „ „ „ $6a : 4b : 3c$

wieder eine andere „ „ „ $a : b : \infty c$

„ „ „ „ „ $2a : 3b : \infty c$

„ „ „ „ „ $a : \infty b : 2c$ u. s. w.

Hier wird auch die Größe ∞ zu den ganzen Zahlen gerechnet.

Wenn demnach an einem Krystall eine Fläche das Parameterverhältnis $a:b:c$ hat, so ist an demselben Krystall keine Fläche möglich, welcher ein Parameterverhältnis $ua:vb:wc$ zukäme, worin u, v, w irrationale Werte, wie $\sqrt{2}$ oder wie

$\sin 20^\circ$ wären, sondern die an dem Krystall möglichen oder wirklich auftretenden Flächen zeigen immer nur solche Parameterverhältnisse, welche ein rationales Verhältnis der Koeffizienten m, n, p darbieten.

Die Fläche, deren Parameterverhältnis $a : b : c$ ist, wird die Einheitsfläche genannt, weil die Koeffizienten sämtlich der Einheit gleich sind.

Die Parameter OA, OB etc. sind Längen, welche in irgend einem Maße, z. B. in Millimetern ausgedrückt werden könnten. Das Parameterverhältnis hingegen ist das Verhältnis dieser Längen, also nur ein Zahlenverhältnis. Das Parameterverhältnis der Einheitsfläche, also das Verhältnis $a : b : c$ wird gewöhnlich das Axenverhältnis genannt. Dieses Verhältnis ist im allgemeinen irrational; es kann mit umsomehr Dezimalen angegeben werden, je genauer die Winkelmessungen sind, aus denen es abgeleitet wurde. Der Genauigkeit von einer Minute entsprechen drei bis vier Dezimalen. Man schreibt selbes in der Regel so, daß wenigstens

Fig. 27.

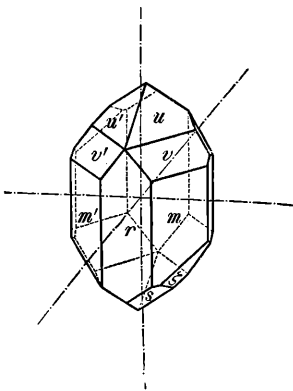


Fig. 28.

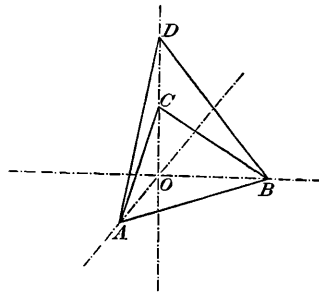
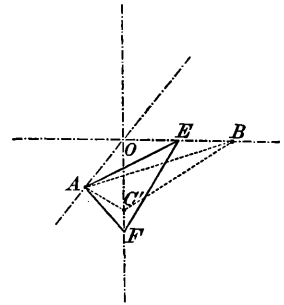


Fig. 29.



eine der drei Zahlen $= 1$ gesetzt wird. Für den Augit, Fig. 23 und 27, ist das Verhältnis $a : b : c$, welches von der Fläche u hergenommen wurde: $1.0921 : 1 : 0.5893$, worin also der eine Wert $= 1$ erscheint.

An dem Krystall, Fig. 27, ergäbe die Fläche u das Parameterverhältnis $a : b : c$. Die Fläche v würde sodann ein ganz verschiedenes Verhältnis liefern, sobald sie aber parallel verschoben wird, so kommt ein Augenblick, in welchem sie an den Axen XX' und YY' dieselben Abschnitte erzeugt wie die vorige Fläche, Fig. 28. Dann aber trifft sie die Achse ZZ' in D , also in einer doppelt so großen Entfernung vom Punkte O als die vorige. Folglich ergibt sich für die Fläche v das Verhältnis $a : b : 2c$.

Die Fläche s hat die Parameter OA, OB, OC' , also das Verhältnis $a : b : -c$.

Wird die Fläche ζ parallel verschoben, bis sie die Axe XX' in demselben Punkte trifft wie die Fläche u , dann würden die beiden anderen Axen in den Entfernungen $OE = \frac{1}{2}b$ und $OF = -\frac{2}{3}c$ treffen, Fig. 29, woraus das Parameterverhältnis $a : \frac{1}{2}b : -\frac{2}{3}c$ folgt, welches nach der Multiplikation mit 6 gleich ist dem Verhältnis $6a : 3b : -8c$.

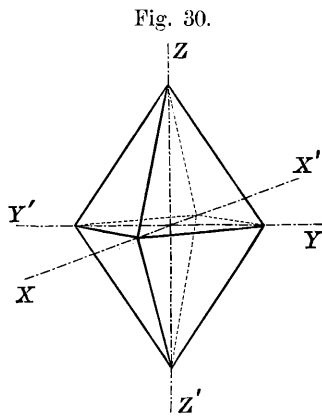
Die Fläche m wird die beiden Axen XX' und YY' in demselben Verhältnis schneiden wie u , dagegen wird sie der aufrechten Axe parallel sein, was durch den Koeffizienten ∞ ausgedrückt wird, wonach das Parameterverhältnis dieser Fläche $a : b : \infty c$ folgt. In diesem Beispiel haben sich für die Koeffizienten die Werte 1, 2, 3, 6, 8 und ∞ , also durchwegs rationale Zahlen ergeben.

17. Flächentypen. Jede Krystallfläche ist entweder einer Axe parallel oder sie ist gegen dieselbe geneigt. Hieraus ergibt sich die erste Klassifikation der Flächen, welcher gemäß drei Typen unterschieden werden.

1. Pyramidenflächen heißen diejenigen, welche alle Axen schneiden, also keiner derselben parallel sind und demnach drei angebbare Parameter haben. Ihr Parameterverhältnis lautet demnach allgemein: $ma : nb : pc$. In Fig. 23 ist u eine Pyramidenfläche.

2. Prismenflächen werden jene genannt, welche einer Axe parallel sind, die übrigen Axen aber schneiden. Ein Beispiel ist m in Fig. 23. Jede Prismenfläche hat nur zwei Parameter. Den dritten pflegt man als unendlich groß zu bezeichnen; somit würden alle Prismenflächen, welche so wie m der aufrechten Axe parallel sind, durch $ma : nb : \infty c$ angedeutet. Sie werden aufrechte Prismen genannt, während jene, welche der Y -Axe parallel sind, gewöhnlich als Querprismen und die der X -Axe parallelen als Längsprismen bezeichnet werden.

3. Endflächen pflegt man jene zu nennen, welche zugleich zwei Axen parallel sind, denen also stets zwei Parameter von der Größe ∞ zukommen. In Fig. 23 sind r, l, t Endflächen, und zwar heißt r die Querfläche, l die Längsfläche, t die eigentliche Endfläche.



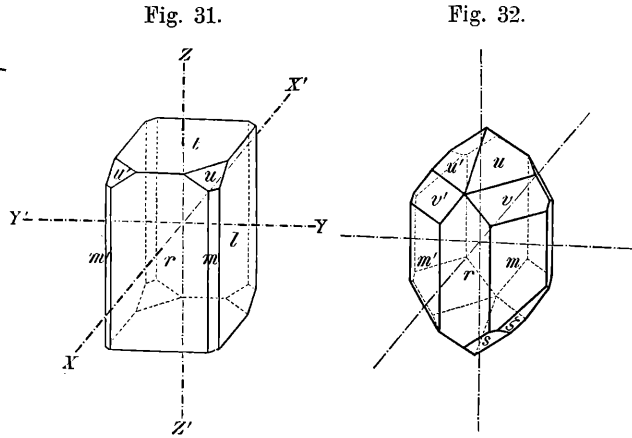
Der Zusammenhang zwischen allen Flächentypen wird anschaulich, wenn man sich klar macht, daß in dem allgemeinen Zeichen einer Pyramidenfläche, nämlich: $ma : nb : pc$, alle diese Flächen enthalten sind. Dieses Zeichen bedeutet vorläufig zwar nur eine einzige Fläche, wenn aber alle die positiven und die negativen Parameter von der angegebenen Länge kombiniert werden, so erhält man die Zeichen von 8 Flächen, welche miteinander eine Doppelpyramide, ähnlich wie Fig. 30, geben würden. Man kann sonach, wenn diese 8 Flächen gleich sind, unter $(ma : nb : pc)$ eine solche pyramidale Form verstehen. Wird nun in diesem Zeichen der Wert p größer und größer gedacht, so entstehen Pyramiden von immer längerer und längerer Z -Axe, also immer spitzere Pyramiden und schließlich, wenn p den Wert ∞ erreicht, entsteht ein aufrechtes Prisma ($ma : nb : \infty c$).

Wenn hingegen in dem ursprünglichen Zeichen $(ma : nb : pc)$ der Wert n immer größer und größer gedacht wird, so entstehen Pyramiden, welche mehr und mehr nach der Y -Axe gestreckt sind, und zuletzt entsteht ein Querprisma ($ma : \infty b : pc$). Wird endlich in dem ursprünglichen Zeichen der Wert m be-

ständig zunehmend gedacht, so gibt dieses Zeichen Pyramiden an, welche nach der X -Axe gestreckt erscheinen, und das Endglied ist in diesem Falle das Längsprisma ($\infty a : nb : pc$).

Keht man jetzt zu dem allgemeinen Zeichen des aufrechten Prismas ($ma : nb : \infty c$) zurück und denkt sich hier den Wert n beständig zunehmend, so bedeutet dies ein aufrechtes Prisma, dessen Flächen sich immer mehr nach der Y -Axe strecken, dessen vorderer Winkel also beständig kleiner wird. Dieser Winkel verschwindet, sobald n die Größe ∞ erreicht, und es entsteht das Querflächenpaar ($ma : \infty b : \infty c$), was ebensoviel ist als ($a : \infty b : \infty c$). In entsprechender Weise gelangt man von den Prismen zu dem Längs- und Endflächenpaar.

18. Bezeichnungsweise. Wenn die Lage der Flächen an einem Krystall so angegeben werden soll, daß der Leser auch ohne Bild eine allgemeine Vorstellung von der Form erlangt und nach der Beschreibung diese im wesentlichen richtig zu zeichnen und zu modellieren im stande ist, so wird zuerst die Lage der Axen beschrieben und werden hierauf die Parameterverhältnisse der einzelnen Flächen angeführt in der Reihenfolge, daß die vorherrschenden Flächen zuerst genannt und die gleichen Flächen zusammengefaßt werden.



Für den Augitkrystall in Fig. 31 sind die Winkel der Axen und das Axenverhältnis schon früher angegeben worden. Die Beschreibung setzt damit fort, daß die stärker entwickelten Flächen zuerst bezeichnet werden. Diese erhalten:
 $r = a : \infty b : \infty c$, die dazu parallele rückwärts $r' = -a : \infty b : \infty c$,
 $l = \infty a : b : \infty c$, „ „ „ links $l' = \infty a : -b : \infty c$,
 $t = \infty a : \infty b : c$, „ „ „ unten $t' = \infty a : \infty b : -c$.

Gewöhnlich werden die gleichen Flächen wie r und r' oder l und l' zusammengefaßt, was durch eine Klammer ausgedrückt wird, so daß die beiden r -Flächen die Bezeichnung ($a : \infty b : \infty c$), die beiden l -Flächen ($\infty a : b : \infty c$) erhalten u. s. w.

Für u gilt $a : b : c$, für $u' = a : -b : c$. Werden diese beiden und die dazu parallelen rückwärtsliegenden Flächen zusammengefaßt, so gilt für alle vier gleichen u -Flächen das Symbol ($a : b : c$).

Nun folgen die Flächen $m = a : b : \infty c$ und $m' = a : -b : \infty c$. Für diese beiden und die dazu parallelen rückwärtsliegenden Flächen, die zusammen ein aufrechtes Prisma bilden, gilt ($a : b : \infty c$).

Für den zweiten Augitkrystall, Fig. 32, wird die Beschreibung der Flächen lauten: $m = (a : b : \infty c)$, $r = (a : \infty b : \infty c)$, $u = (a : b : c)$, $v = (a : b : 2c)$, $s = (a : b : c')$, $\zeta = (6a : 3b : 8c')$.

Statt des Minuszeichens schreibt man rechts neben den Parameter einen Strich, z. B.:

$$a : -b : 2c = a : b' : 2c \text{ oder } a : b : -\frac{1}{3}c = a : b : \frac{1}{3}c'.$$

Diese Art der Bezeichnung, welche die Flächen durch Symbole angibt, in denen die Buchstaben vorkommen, welche das Axenverhältnis andeuten und außerdem die Koeffizienten, rührt von Weiß her. Im folgenden werden Symbole dieser Art als Parametersymbole oft angeführt.

Eine zweite Art der Bezeichnung ist die von Naumann. Nach dieser werden auch die Koeffizienten geschrieben, jedoch in Verbindung mit einem einzigen Buchstaben, z. B. mit P, welcher die ganze Form gleicher Flächen, deren Koeffizienten durchwegs 1 sind, symbolisch ausdrückt; so ist beispielsweise:

$$\begin{aligned} (a : b : c) \text{ Weiß} &= P \text{ nach Naumann} \\ (a : b : 3c) & \text{ „ } = 3P \text{ „ „ „} \\ (a : b : \infty c) & \text{ „ } = \infty P \text{ „ „ „ u. s. w.} \end{aligned}$$

Die vor dem c stehenden Koeffizienten werden vor das P gesetzt.

Eine dritte Art der Bezeichnung rührt von Whewell und von Graßmann her, sie wird aber gewöhnlich die Millersche genannt. Nach derselben wird das Axenverhältnis nicht wiederholt und es werden anstatt der Koeffizienten deren reziproke Werte geschrieben. Letztere werden allgemein mit h , k , l etc. bezeichnet und Indizes genannt. Da nämlich die Glieder jedes Verhältnisses auf die Form $\frac{1}{x}$ gebracht werden können, so ist auch

$$\begin{aligned} m : n : p &= \frac{1}{h} : \frac{1}{k} : \frac{1}{l}, \text{ und} \\ h : k : l &= \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p}. \end{aligned}$$

Demnach sind die Ausdrücke

$$ma : nb : pc \text{ und } \frac{a}{h} : \frac{b}{k} : \frac{c}{l} \text{ identisch.}$$

Um die Indizes zu erhalten, wird man entweder die Koeffizienten auf die Form $\frac{1}{x}$ bringen und die so erhaltenen drei Nenner als Indizes anschreiben, oder man wird statt der Koeffizienten deren reziproke Werte nehmen und das entstehende Verhältnis auf ganze Zahlen bringen, welche die Indizes darstellen. Das Parameterzeichen $2a : 2b : 3c$ wird also entweder durch Division mit 6 auf die Form $\frac{1}{3}a : \frac{1}{3}b : \frac{1}{2}c$ gebracht, woraus die Indizes 332 erhalten werden, oder es werden statt der Koeffizienten 2, 2, 3 deren reziproke Werte $\frac{1}{2} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$ genommen, welche nach der Multiplikation mit 6 die Indizes 332 liefern. Aus $a : b : c$ erhält man die Indizes 111, aus $a : b : \infty c$ aber nach der zweiten Methode das Verhältnis $\frac{1}{1} : \frac{1}{1} : \frac{1}{\infty}$, wonach die Indizes 110 sind. Aus $a : b : -c$ ergeben sich, dem früher Gesagten entsprechend, die Indizes 11 $\bar{1}$, indem das Minuszeichen über den

bezüglichen Index gesetzt wird. Sollen nicht die einzelnen Flächen bezeichnet, sondern alle gleichen Flächen, d. i. soll die vollständige einfache Form durch ein einziges Symbol dargestellt werden, so setzt man die Indizes in die Parenthese, also ist $(a : b : c) = (111)$. Flächen, deren Indizes bloß aus den Zeichen 1 und 0 bestehen, werden weiterhin als primäre Flächen bezeichnet.

Alle drei Bezeichnungsarten sind in deutschen Werken gebräuchlich. Die Weißsche weniger als die Naumannsche. Letztere hat manche Bequemlichkeit für sich, gestattet jedoch nicht die Angabe einer einzelnen von den gleichen Flächen und kompliziert sich durch verschiedene Anhängsel, deren später gedacht wird. Die Millersche ist für den Anfänger weniger bequem als die vorigen, aber sie gibt für die Rechnung den unmittelbaren Behelf, da man in diesem Fall nicht die Koeffizienten, sondern die Indizes anwendet, ferner ist sie durch Kürze und Einfachheit den anderen überlegen.

19. Krystallbilder. Die Eigenschaften der Krystallformen lassen sich am besten an Modellen studieren, welche die Lage der Flächen mit hinlänglicher Genauigkeit wiederholen. Der Anfänger wird am raschesten in das Verständnis der Gestalten eindringen, wenn er seine Anschauung zuerst an Modellen übt. Gut geschnittene Holzmodelle werden ihm besonders dienlich sein.

Der Geübtere wird sich an gute Zeichnungen halten. In diesen sind die Krystalle möglichst ebenmäßig, ohne alle Verzerrungen dargestellt, und es wird von allen die Form ändernden nebensächlichen Vorkommnissen abgesehen. Häufig ist die Form außerdem so gezeichnet, daß auch die Kanten der Rückseite ausgezogen sind. Es ist also eigentlich ein Netz gezeichnet, welches von den Kanten gebildet wird.

Die Krystallbilder, welche in wissenschaftlichen Werken vorkommen, sind aber nicht so dargestellt, wie die Krystalle wirklich gesehen werden. Sie sind nicht nach den Regeln der gewöhnlichen Perspektive entworfen, denn sonst müßten parallele Linien, z. B. die Kanten eines Würfels, welche auf den Beobachter zulaufen, nach der vom Beobachter abgewendeten Richtung konvergieren. Auf solche Weise würde der Parallelismus der Kanten, welcher namentlich für die Beurteilung der Zonenverhältnisse wichtig ist, aufgehoben. Deshalb sind die Krystallbilder nach der Methode der Parallelperspektive entworfen. Dieser entsprechend denkt man sich den Krystall vor eine Ebene gestellt und denkt sich von jedem Eckpunkte des Krystalles auf die letztere senkrechte Linien gefällt. Werden die Fußpunkte derselben durch Linien, welche den Kanten des Krystalles entsprechen, verbunden, so entsteht eine parallel-perspektivische Projektion oder, wie man es auch nennt, ein Bild, welches den Krystall aus unendlicher Entfernung gesehen darstellt. Unsere Krystallfiguren sind also parallel-perspektivische Projektionen.

Näheres hierüber in den auf Seite 6 angeführten Lehrbüchern, ferner in Weisbachs Anleitung zum axonometrischen Zeichnen, 1857. Jolles, Zeitschr. f. Krystallographie, Bd. 22, S. 1. Goldschmidt, ebendas., Bd. 19, S. 352. Fedorow, ebendas., Bd. 30, S. 9. Nies, Allgemeine Krystallbeschreibung auf Grund einer vereinfachten Methode des Krystallzeichnens. Stuttgart 1895.

20. Schematische Projektionen. Die Krystallbilder, die sich aus der parallelperspektivischen Projektion ableiten, weichen von einer porträtmäßigen Darstellung wenig ab und geben ein anschauliches Bild der Form, jedoch läßt sich aus einem solchen weder der dem Parametergesetz entsprechende Zusammenhang noch jener, der aus dem Zonengesetze folgt, übersichtlich erkennen. Dies aber leisten die schematischen Projektionen, von welchen gegenwärtig besonders zwei im Gebrauche sind. Die eine, die Linearprojektion, macht die Parameterverhältnisse der einzelnen Flächen anschaulich, die andere, die Kugelprojektion, gibt ein Bild von den Winkeln und dem Zonenverbande der Flächen.

Nach der von Quenstedt ausgearbeiteten Methode der Linearprojektion werden die Flächen als Linien projiziert. Man denkt sich den Krystall vor die Projektionsebene beliebig gestellt, jedoch meistens so, daß eine der Endflächen jener Ebene parallel ist. Hierauf denkt man sich alle Flächen des Krystalles parallel verschoben, bis sie sämtlich durch einen außerhalb der Projektionsebene liegenden Fixpunkt gehen, dessen Distanz von dieser Ebene bekannt ist. Jedes Flächenpaar wird dadurch zu einer einzigen Fläche und alle Flächen schneiden sodann die Papierfläche in Linien, die ausgezogen werden. Nur die Fläche, welche der Projektionsebene parallel gestellt wurde, erscheint nicht in dieser Zeichnung.

Ist die Projektionsebene parallel einer Endfläche, so tritt eine Krystallaxe aus der Projektionsebene heraus und auf ihr wird im Abstand 1 der Fixpunkt angenommen; zwei Krystallaxen liegen in derselben und es können die Projektionen der Flächen nach Ausmessung der Abschnitte an diesen beiden Axen gefunden werden. Diese Abschnitte folgen aus dem Weißschen Flächensymbol $ma : nb : pc$ nach einer Umformung mit Rücksicht darauf, daß alle Flächen durch den Endpunkt einer

Fig. 33.

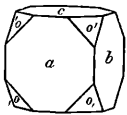
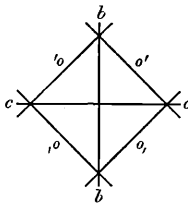


Fig. 33a.



Axe gelegt sind, deren Parameter = 1. Ist also die Projektionsebene der Querfläche parallel, so ist jeder Parameter der ersten Axe der Einheit gleich und die Abschnitte werden gemäß der Umformung sein $1 : \frac{nb}{ma} : \frac{pc}{ma}$.

Denkt man sich einen Würfel auf eine Ebene projiziert, welche einem seiner Flächenpaare parallel ist, so besteht die Projektion aus zwei gegeneinander senkrechten Linien b und c , die Oktaederflächen o liefern vier ein Quadrat umschließende Linien. Vgl. Fig. 33 und 33a.

Die Geraden b und c geben die aufrechte Axe und die Queraxe an, der Durchschnitt beider ist das projektivische Bild der Zone bce . Die mit o bezeichneten Geraden bilden an den Axen gleiche Abschnitte. Der Parallelismus der Geraden o' und o bedeutet die Zone $o'a,o$, jener der Geraden $'o$ und o , die Zone $'oao,$. Der dreistrahlige Büschel $'obo'$ gibt eine Zone an u. s. w. Demnach erscheinen die Zonen teils durch den Parallelismus der Geraden, teils durch Linienbüschel ausgedrückt. In Fig. 34 ist ein Augitkrystall gezeichnet und in Fig. 34a dessen Linearprojektion auf eine zu b parallele Ebene angegeben. Auch hier sind

Zonen, wie aM oder obo' durch Parallelismus der Geraden, andere Zonen, wie $cs oM$ oder $s'z M$ durch Linienbüschel ausgedrückt.

Zu dieser Projektion liefert das Flächenpaar a eine aufrechte Gerade, das Paar c eine rechts geneigte Gerade, welche beide die Richtungen der Axen angeben, die miteinander 74° bilden. Die dritte Axe ist senkrecht zu b und zur Projektionsebene zu denken. Die Augitkrystalle haben das Axenverhältnis $a : b : c = 1.095 : 1 : 0.590$. Entsprechend der b -Axe ist der Projektionspunkt, durch den alle Flächen gelegt werden, von der Ebene um die Einheit entfernt. Auf die a -Axe wird die Länge $bI = 1.095$, auf die c -Axe die Längen $b1 = 0.590$ in irgend einem Maße, z. B. in Zentimetern, aufgetragen. M hat das Parameterverhältnis $a : b : \infty c$, M' hat $a' : b : \infty c$. Demnach sind die Projektionen beider der aufrechten Axe parallel und schneiden die a -Axe beiderseits in der Distanz $bI = 1.095$, s ist $a : b : c'$, daher schneidet die Gerade ss die vorgenannte Axe auch in der Entfernung bI , die aufrechte unterhalb in $b1$ und entsprechend verhält sich die Projektion der damit gleichen Fläche s' . Die Fläche o ist $a : b : 2c'$. Die Projektion oo trifft daher die a -Axe in derselben Entfernung wie die vorige Fläche, die aufrechte Axe aber unterhalb in der doppelten $b2 = 2 \times 0.590$ und entsprechend verhält sich die Projektion von o' . In gleicher Art werden die Flächen $z = \infty a : b : 2c$ und $p = a : \infty b : c'$ projiziert.

Fig. 34.

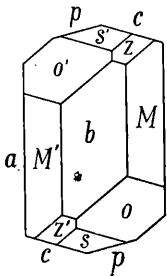


Fig. 34a.

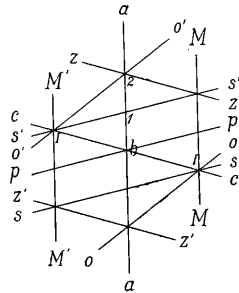


Fig. 35.

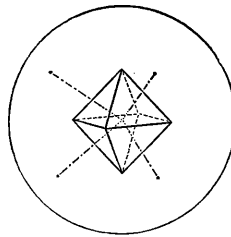
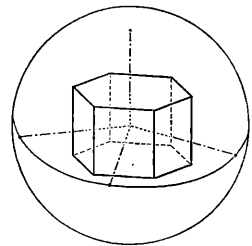


Fig. 36.



Bei der Zeichnung der Linearprojektion werden demnach, wenn die Axen in der Projektionsebene liegen, die Parameterverhältnisse aufgetragen und durch Gerade verbunden. Umgekehrt lassen sich die Parameterverhältnisse aus der Projektion ablesen.

Näheres über die Linearprojektion: Quenstedt, Grundriß der bestimmenden und rechnenden Krystallographie, Tübingen 1873. Websky, Anwendung der Linearprojektion zum Berechnen der Krystalle, Berlin 1887.

Nach der zuerst von Neumann angegebenen, von Miller ausgearbeiteten Methode der Kugelprojektion werden die Flächen des Krystalles als Punkte projiziert. Der Krystall wird in der Mitte einer Kugel gedacht, so daß das Zentrum der Kugel innerhalb des Krystalles liegt. Werden hierauf aus dem Zentrum gegen die Krystallflächen senkrechte Linien gezogen und diese verlängert, so treffen sie die Kugeloberfläche in Punkten (Flächenpole), deren jeder die Lage einer Fläche angibt. Die Fig. 35 gibt das Bild einer Projektionssphäre, innerhalb welcher ein Oktaeder gedacht ist. Fig. 36 stellt die Projektion der vorderen Flächen eines sechsseitigen Prismas und der Endfläche dar. Man erkennt leicht, daß durch diese Darstellung ein Abbild der Winkel geliefert wird, welche die Normalen der Flächen einschließen, und daß die Pole der Flächen einer Zone in einem größten Kreise liegen.

In der Projektionsfigur wird der Krystall selbst nicht gezeichnet, sondern es werden bloß die Flächenpole und der Kreis, welcher die Grenze der Projektions-sphäre bezeichnet, der Grundkreis, angegeben, welche nach jener Operation auf der Kugelfläche erscheinen würden. Ist eine Zone vorhanden, so wird sie deutlich gemacht, indem die bezüglichen Flächenpole durch eine Linie verbunden werden, die gekrümmt sein wird, wenn diese Linie nicht durch den Mittelpunkt des Grundkreises geht. Bei jener Art der Projektion, welche als die stereographische bezeichnet wird, ist alles darauf berechnet, daß die durch den Mittelpunkt des Grundkreises laufenden Zonenlinien als Gerade, die übrigen aber als Kreisstücke erscheinen, die Zeichnung sich demnach mit Zirkel und Lineal ausführen läßt. Man hat darauf zu achten, daß jede Zonenlinie, weil sie einen größten Kreis darstellt, an zwei um 180° verschiedenen Punkten des Grundkreises endet. Fig. 37 stellt

Fig. 37.

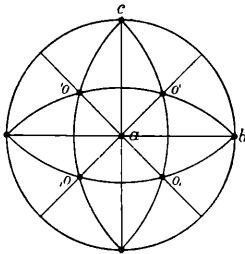


Fig. 38.

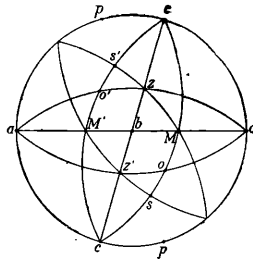


Fig. 39.

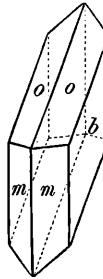
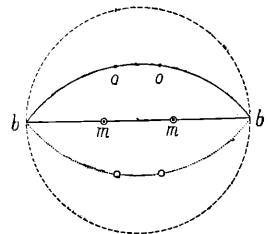


Fig. 40.



die stereographische Projektion der in Fig. 33 gezeichneten Form dar, wenn der Flächenpol a in die Mitte des Grundkreises gesetzt wird. Fig. 38 entspricht dem in Fig. 34 gezeichneten Augitkrystall.

In solchen Bildern wird nur die eine Seite des Krystalles projiziert. Man kann aber gleichzeitig auch die Rückseite darstellen, wenn man dieselbe Methode auf diese anwendet und beide Bilder vereinigt. In Fig. 39 ist ein Gypskrystall abgebildet und daneben die stereographische Projektion beider Seiten des Krystalles gegeben. Der Zonenkreis der Rückseite ist punktiert, die dortigen Flächenpole sind durch kleine Ringe bezeichnet, Fig. 40.

Bei der Projektion der Flächennormalen auf die Kugelfläche hat man sich die Kugel von außen gesehen gedacht, die stereographische Methode gibt aber eigentlich ein Bild der Innenseite und verzeichnet die Pole so, wie sie einem in der Kugelfläche befindlichen Auge erscheinen. Die Konstruktion ist nämlich folgende: Auf der Kugelfläche, welche die Flächenpole trägt, wird ein Punkt z ausgewählt, welcher den Mittelpunkt der Zeichnung angeben soll. Eine Gerade, welche von z durch das Kugelzentrum gezogen wird, trifft die andere Seite der Kugel in a , welches der Augenpunkt der Projektion ist. Fig. 41. Denkt man sich nun von a aus Strahlen zu den Flächenpolen P auf der Kugel gezogen, so wird eine Ebene EE , welche im Kugelzentrum auf az senkrecht steht, von diesen Strahlen in ebenso vielen Punkten durchschnitten werden. Das auf der Ebene EE entstehende Bild ist nun unsere Projektion, die man gewöhnlich in den Kreis einschließt, welcher sich aus dem Durchschnitte der Kugel mit jener Ebene EE ergibt und der Grundkreis ist.

Den Beweis, daß bei dieser Projektion die Zonenlinien als Kreisstücke erscheinen, findet man in Grailich-Miller, Krystallographie, S. 188. Lang, Krystallographie, S. 291. Liebisch,

Geometrische Krystallographie, S. 117. Goldschmidt, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 30, S. 260, hier auch die Literatur über die stereographische Projektion. H. E. Boeke, Die Anwendung der stereographischen Projektion, 1911.

Soll auch die zweite in Fig. 41 unter der Ebene EE liegende Kugelhälfte projiziert werden, so denkt man sich den Augenpunkt nach z versetzt und erhält nach dem vorhin genannten Verfahren auch die Flächenpole der zweiten Seite des Krystalles auf der durchsichtig gedachten Ebene EE im Grundkreis eingeschlossen.

Bei der Ausführung der stereographischen Projektion macht man öfter von bestimmten Konstruktionen Gebrauch, wovon die häufiger angewandten folgende sind:

1. Wenn die Projektion einer Zone ARB gegeben ist, Fig. 42, und die Projektion jenes Punktes gesucht wird, wo die Axe jener Zone die Kugel trifft, also der Pol der Zone zu kon-

Fig. 41.

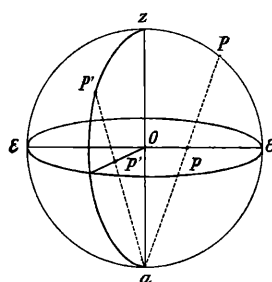


Fig. 42.

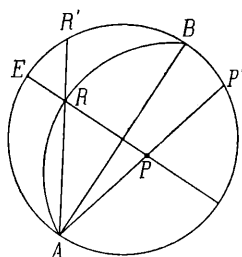
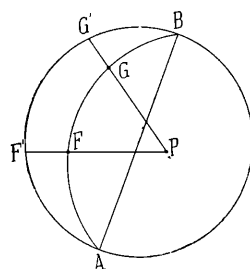


Fig. 43.



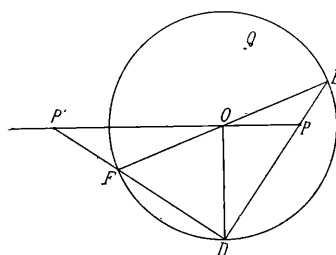
struieren ist, so zieht man den Durchmesser AB , errichtet senkrecht dazu den Durchmesser ER , verbindet A mit R , verlängert bis R' , trägt sodann auf den Grundkreis von R' bis P' die Bogenstanz von 90° auf und verbindet P' mit A . Wo diese Gerade den Durchmesser ER trifft, liegt der Projektionspunkt P des Poles der Zone ARB .

2. Ist der Pol P konstruiert, so läßt sich die Aufgabe lösen, auf die Zone AB von einem Punkte F aus einen Winkel w aufzutragen, Fig. 43. In diesem Falle verbindet man P mit F , verlängert bis F' , trägt mittels des Transporteurs auf dem Grundkreise den Bogen $F'G'$ auf, der dem Winkel w entspricht und zieht die Gerade $G'P$, welche den Zonenkreis in G schneidet. Der Bogen FG entspricht dem Winkel w . Umgekehrt kann man in jeder stereographischen Projektion, die nicht in zu kleinem Maßstabe ausgeführt ist, an jeder Zone mittels des Transporteurs die Flächenwinkel ablesen, wenn der Pol P gefunden ist.

3. Bei der Projektion der Zonenkreise als Kreisstücke verfährt man immer so, daß man von drei Flächenpolen der Zone ausgeht. Nun verbindet man den ersten mit dem zweiten, diesen mit dem dritten Pol durch Gerade, errichtet in der Mitte jeder der beiden Geraden Senkrechte, worauf der Durchschnitt der letzteren das Zentrum des Kreises für die Zeichnung jenes Kreisstückes angibt. Sind bloß zwei Flächenpole gegeben, wovon einer in dem Grundkreis liegt, so findet man leicht den Gegenpol des letzteren auf dem Grundkreis und hat man die erforderlichen drei Pole.

Sind nur zwei Flächenpole P und Q gegeben, wovon keiner in dem Grundkreise liegt, so findet man für den einen, z. B. für P , die Projektion des Gegenpoles durch folgende Konstruktion, Fig. 44. Man zieht von P durch den Mittelpunkt des Grundkreises O eine Gerade, in welcher die Projektion des Gegenpoles zu liegen kommt, errichtet in O eine dazu Senkrechte, die den Grundkreis in D trifft. Hierauf zieht man die Gerade DP , die den Grundkreis in E erreicht. Ein Durchmesser, der von E aus gezogen wird, endet in F . Man verbindet D mit F und ver-

Fig. 44.



längert bis zum Zusammentreffen mit der zuerst gezogenen Geraden. P' ist die Projektion des Gegenpols von P . Man hat jetzt die drei Flächenpole P, Q, P' für die Konstruktion.

Die Beweise für diese Konstruktion sind in der Krystallographie von Lang, S. 293, in Henrich, Krystalloberechnung, S. 18, angegeben. Die Ausführung der oben angeführten Konstruktionen wird durch den Gebrauch stereographischer Netze sehr erleichtert. Siehe das oben angeführte Buch von Boeke.

21. Parametergesetz und Zonengesetz. Dem Parametergesetz entsprechend pflegt man die Flächen des Krystalles in der Weise abzuleiten, daß drei Flächen als Endflächen angenommen werden, die zur Bestimmung der Axen dienen, und eine

Pyramidenfläche, die das Axenverhältnis der Einheitsfläche liefert. Bei der Ableitung der Flächen gemäß dem Zonengesetze geht man im Prinzip von vier Pyramidenflächen aus. An einer Form wie der in Fig. 45 würden die Flächen o benützt und es würden die Positionen ihrer Pole wie in der nebenstehenden Fig. 46 bestimmt. Werden die Zonen, die durch diese Pole angegeben sind, ausge-

Fig. 45.

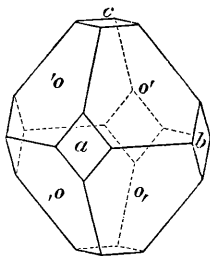
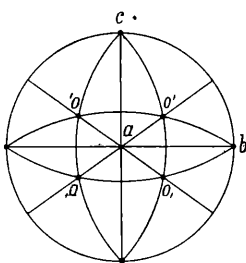


Fig. 46.



zogen, so erhält man sechs Zonen erster Art: $'oo' - ,oo, - 'o,o - o'o, - o',o - 'oo,$. Das Zonengesetz findet nun seinen Ausdruck darin, daß an einem Krystall, an dem vier Flächen, von denen nicht drei in einer Zone liegen, beobachtet sind; auch jene Flächen vorhanden oder möglich sind, deren Pole in den Durchkreuzungspunkten der Zonen jener vier Flächen liegen. Zunächst sind es die drei mit a, b, c bezeichneten Schnitte und diese liefern die Pole der gleichbezeichneten Krystallflächen in Fig. 45. Sind also die vier Flächen o die Flächen eines Krystalles, dann sind sie auch mit drei vorhandenen oder möglichen Flächen a, b, c verbunden, welche drei Zonen zweiter Art ab, ac, bc angeben. Die früher genannten sechs und die drei jetzt genannten Zonen bilden das Neunzonensystem, das die Grundlage aller ferneren Ableitungen bildet.

Im weiteren ergeben sich auch andere Zonenschnitte als Pole möglicher Flächen, also der Schnitt der Zonen $o'o,$ und $ab,$ der eine Fläche m ableiten läßt, Fig. 47. Der Schnitt der Zonen $'oo'$ und $ac,$ der den Pol der Fläche p liefert, der Schnitt der Zonen $,oo'$ und $bc,$ der auf den Pol r leitet. Demnach sind am selben Krystall auch die Flächen m, p, r möglich, wie dies in Fig. 48 dargestellt ist. Wenn bei Anwendung der Millerschen Bezeichnung $o' = 111$ ist, so erhalten die Endflächen die Bezeichnungen $a = 100, b = 010, c = 001,$ die zugehörigen Prismenflächen $m = 110, p = 101, r = 011.$

Wird ferner ein Pol aufgesucht, der in dem Schnitte der Zonenkreise mp und ao' liegt, so ergibt sich aus der Linearprojektion oder bei Anwendung der später anzuführenden Zonenregeln für den so gefundenen Pol v die Bezeichnung $211.$ Die entsprechende Fläche v ist demnach auch eine am selben Krystall mögliche

Fläche, Fig. 49. So würden sich für jeden ferneren Zonenschnitt wiederum Indizes in ganzen Zahlen ergeben.

Das Parametergesetz sagt aus, daß die sämtlichen Flächen eines Krystalles von dem Parameterverhältnis der Einheitsfläche durch ganze Zahlen abgeleitet werden können. Das Zonengesetz gibt an, daß alle Flächen eines Krystalles durch Zonenschnitte abgeleitet werden können, und es zeigt sich, daß allen Zonenschnitten als Indizes ganze Zahlen, also rationale Parameterverhältnisse entsprechen. Demnach sind Parametergesetz und Zonengesetz nur zwei verschieden lautende Ausdrücke derselben Gesetzmäßigkeit.

22. Zonenregeln. Wenn die Flächen eines Krystalles miteinander in Zonen liegen, so kann die Lage jeder Fläche durch Anwendung der Zonenregeln bestimmt werden und man erhält die Indizes einer jeden Fläche, ohne die Winkel zu kennen,

Fig. 47.

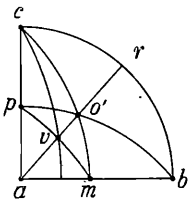


Fig. 48.

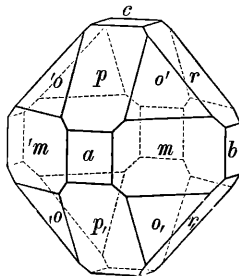
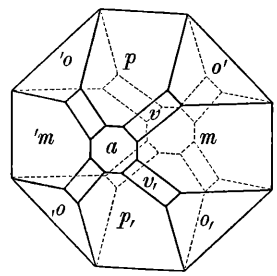


Fig. 49.



durch eine einfache Rechnung. Auch wenn der Zonenverband kein vollständiger ist, führen diese Regeln öfter zum Ziele. In den übrigen Fällen werden die Indizes durch Rechnung aus den Flächenwinkeln abgeleitet.

Sind die Indizes zweier Flächen bekannt, z. B. 111 und 123, so erhält man das Symbol der Zone, in welcher sie liegen, auf eine einfache Weise, indem man jene Indizes mit Wiederholung der beiden ersten untereinander schreibt: $\frac{1}{1} \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{2}$.

Hierauf beginnt man beim zweiten oberen Index und multipliziert mit dem dritten unteren. Dann bildet man ebenso aus dem dritten oberen und dem zweiten unteren ein Produkt oder, wie man sich kurz ausdrückt, man multipliziert kreuzweise. Hierauf wird die Differenz beider Produkte gewonnen, welche den ersten Index des Zonenzeichens liefert. Dieses Verfahren fortgesetzt, ergibt auch die beiden anderen Indizes. Im obigen Beispiele hat man $1 \cdot 3 - 1 \cdot 2 = 1$, $1 \cdot 1 - 1 \cdot 3 = -2$ und $1 \cdot 2 - 1 \cdot 1 = 1$, wonach das Zonenzeichen $[1\bar{2}1]$. Aus dem Zeichen der beiden Flächen 201 und 110 würde man das Zonensymbol $[\bar{1}12]$ erhalten. Die Zonensymbole gestatten nun die Anwendung der folgenden Regeln:

1. Regel. Eine Fläche hkl , welche in der Zone $[uvw]$ liegt, erfüllt die Bedingung $hu + kv + lw = 0$. Um also zu erkennen, ob die Fläche 432 in der Zone $[1\bar{2}1]$ liege, bildet man die Summe der drei Produkte, nämlich $4 \cdot 1 - 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1$, welche 0 gibt, also die Frage bejaht, während die Frage verneint wird, wenn man prüft, ob die Fläche 112 in jener Zone liege, da man nicht 0, sondern 1 erhält.

Eine andere Anwendung derselben Regel ergibt sich dann, sobald von einer Fläche sicher ist, daß sie in einer bestimmten Zone liege, jedoch die Indizes dieser Fläche nicht vollständig bekannt sind. So z. B. würde man eine Fläche, die in der Zone $[1\bar{2}1]$ liegt und von der man außerdem weiß, daß sie der X-Axe parallel sei, die Indizes $0kl$ schreiben, und jener Bedingung zufolge $0 - 2k + l = 0$ entwickeln, woraus man $l = 2k$, also die Indizes $0, k, 2k$ oder nach Division durch k 012 erhalten würde.

2. Regel. Diese besagt, daß man die Indizes des Durchschnittspunktes zweier Zonen auf dieselbe Weise erhält, nach der man das Zonensymbol aus den Flächenindizes entwickelt. Wenn man also weiß, daß eine Fläche sowohl in der Zone [121] als auch in der Zone [112] liegt, so erhält man nach dem obigen Verfahren der kreuzweise ausgeführten Multiplikation und Subtraktion der Produkte aus diesen beiden die Indizes 531 als Zeichen jener Fläche. Da man sonach für eine in zwei Zonen liegende Fläche stets rationale Indizes erhält, so ist eine solche Fläche stets eine mögliche Fläche des Kristalles.

3. Regel. Werden die Indizes zweier Flächen bezüglich jeder Axe addiert, so erhält man die Indizes einer Fläche, welche die Kante der beiden vorigen abstumpft. Sind die beiden erstgenannten Flächen gleichartig, so hat man die Indizes der geraden Abstumpfung, d. i. jener Fläche erhalten, welche gegen die beiden vorigen gleich geneigt ist. Demnach hat die Fläche, welche die Kante der beiden gleichartigen Flächen 211 und 121 gerade abstumpft, die Indizes 332.

Fig. 50.

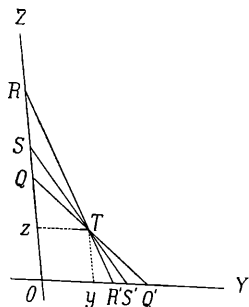
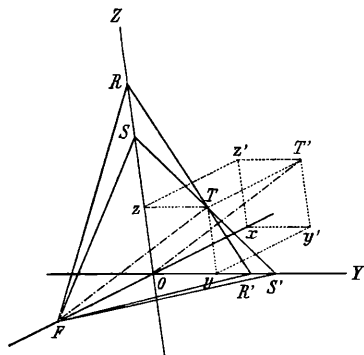


Fig. 51.



Zur Ableitung der Zonenregeln ist die Linearprojektion auf eine zu 100 parallele Ebene dienlich, Fig. 50, in der OZ die c-Axe, OY die b-Axe anzeigt. QQ' ist die Projektion

der Fläche hkl , RR' jene der Fläche pqr und SS' jene der Fläche uvw . Der Punkt T entspricht der von diesen gebildeten Zone. Demnach ist

$$OQ = \frac{h}{l} \cdot \frac{c}{a}, OQ' = \frac{h}{k} \cdot \frac{b}{a}, OR = \frac{p}{r} \cdot \frac{c}{a}, OR' = \frac{p}{q} \cdot \frac{b}{a}, OS = \frac{u}{w} \cdot \frac{c}{a}, OS' = \frac{u}{v} \cdot \frac{b}{a}.$$

Aus der Figur sind die Beziehungen:

$$\begin{aligned} OQ : OQ' &= OQ - yT : zT \\ OR : OR' &= OR - yT : zT \\ OS : OS' &= OS - yT : zT \end{aligned}$$

zu entnehmen. Wird der aus der ersten Gleichung folgende Wert von yT in die zweite und dritte eingesetzt, die Substitution vollzogen, so ergibt sich:

$$(kr - lq) : (kw - lv) = (hr - lp) : (hw - lu)$$

und daraus:

$$u(kr - lq) + v(lp - hr) + w(hq - kp) = 0 \quad \dots \quad 1)$$

womit die erste Zonenregel angegeben ist. Wenn $kr - lq = A$, $lp - hr = B$, $hq - kp = C$ gesetzt werden, so lautet diese Gleichung: $uA + vB + wC = 0$.

Wird außer der vorgenannten eine Zone angenommen, in der die Flächen efg und rst liegen und sind uvw die Indizes der beiden Zonen gemeinschaftlichen Fläche, so leiten sich die beiden Gleichungen: $uA + vB + wC = 0$ und $uD + vE + wF = 0$ ab, worin D, E, F die der zweiten Zone entsprechenden Werte. Hieraus erhält man mit Rücksicht darauf, daß $u : v : w$ ein Verhältnis ganzer Zahlen:

$$u = BF - CE, \quad v = CD - AF, \quad w = AE - BD \quad 2)$$

woraus das Verfahren nach der zweiten Zonenregel folgt.

Werden die Indizes zweier Flächen derselben Zone, z. B. hkl und pqr , bezüglich jeder Axe addiert und die Summen $h + p, k + q, l + r$ in 1) statt u, v, w eingesetzt, so ergibt sich die Richtigkeit der dritten Zonenregel und im Hinblick auf die Fig. 50 auch die des zweiten Teiles derselben.

Aus der Fig. 51 ergibt sich die geometrische Bedeutung des Zonensymbols $[ABC]$. Die Verbindung des Zonenpunktes T mit dem vor der Zeichenebene im Abstand 1 auf der a -Axe gelegenen Fixpunkt der Linearprojektion (20) liefert die Lage der Kante der Zone. Denkt man

sich diese Kante längs der a -Axe parallel mit sich selbst verschoben, bis das im Fixpunkt gelegene Ende in den Mittelpunkt O gelangt, so rückt der Punkt T um die Längeneinheit hinter die Projektionsebene und seine Koordinaten sind nach der Verschiebung: längs der a -Axe -1 , während die Koordinaten längs der b -Axe $Oy = zT$ und längs der c -Axe $Oz = yT$ ungeändert bleiben. Für diese Strecken findet man aus den beiden ersten oben abgeleiteten Beziehungen:

$$Oy = zT = \frac{b(lp - hr)}{a(lq - kr)} \quad \text{und} \quad Oz = yT = \frac{c(hq - kp)}{a(lq - kr)}$$

Das Verhältnis der drei Koordinaten des Punktes T nach der Verschiebung wird dann:

$$Ox : Oy : Oz = a(kr - lq) : b(lp - hr) : c(hq - kp) = aA : bB : cC$$

Die Zahlen des Zonensymbols $[ABC]$ sind also die drei rationalen Koeffizienten, mit denen die Glieder des Axenverhältnisses multipliziert werden müssen, um die Koordinaten jenes Punktes zu geben, der mit dem Mittelpunkt geradlinig verbunden die Lage der Zonenaxe angibt.

Hiernach ergibt sich leicht das Symbol der Zone der a -Axe. Punkt T fällt in die Axe selbst, Oy und Oz werden $= 0$, sonach das Symbol $[100]$. Ebenso für die Zone der b -Axe $[010]$ und für die Zone der c -Axe $[001]$. Die übrigen sechs Zonen des Neunzonensystems erhalten die Symbole $[110]$ $[\bar{1}\bar{1}0]$ $[101]$ $[\bar{1}01]$ $[011]$ $[0\bar{1}\bar{1}]$.

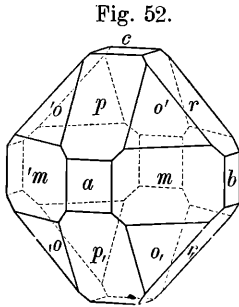
23. Krystallberechnung. Wie bei der Ableitung der Flächen, so geht man auch bei der Berechnung der Winkel von vier Krystallflächen aus, die nicht zu dreien in einer Zone liegen. Denkt man sich vier Flächenpole auf der Kugel, so findet man leicht, daß zur Bestimmung der gegenseitigen Lage derselben fünf Bogen erforderlich sind, woraus zu entnehmen ist, daß fünf Flächenwinkel bekannt sein müssen, wenn die übrigen Winkel zu ermitteln sind. Die Rechnung besteht in der Auflösung der sphärischen Dreiecke, die sich aus der stereographischen Projektion ergeben. Sie vereinfacht sich in den Fällen, da die Krystalle symmetrische Formen darbieten, indem viele Winkel 90° oder 60° , 45° , 30° betragen.

Die Methode der Krystallberechnung auf Grund der stereographischen Projektion wurde von Miller ausgebildet. Die von letzterem in der Elementary introduction to Mineralogy by Phillips, London 1852, angegebenen Formeln sind mehr als ausreichend. Ausführlicheres ist in den früher genannten Lehrbüchern von Karsten, v. Lang, Liebisch, Groth, ferner in Henrich, Lehrbuch der Krystallberechnung, Stuttgart 1886, enthalten. Der Messung mit dem zweikreisigen Goniometer sind die Anweisungen in V. Goldschmidt, Index der Kristallformen, I, Berlin 1886, und Krystallographische Winkeltabellen, Berlin 1897, angepaßt.

24. Symmetrie. Darunter versteht man das Auftreten gleicher Stücke (Flächen, Kanten, Ecken) an der vollständig ausgebildeten Form der Krystalle. Im Falle der Symmetrie wiederholt sich eine Fläche so, daß an Krystallen von gleichförmiger Ausbildung mehrere gleiche Flächen vorkommen können. Diese haben dann gleiche Lage, gleiche Gestalt und gleiche physikalische Beschaffenheit. An den verzerrten Formen erscheint die Gleichheit der Gestalt gleicher Flächen aufgehoben. Der Wiederholung gleicher Flächen entspricht aber die Wiederholung gleicher Flächenwinkel, die durch Verzerrung nicht geändert wird.

Krystallformen, die bloß aus gleichen Flächen bestehen, werden einfache Formen genannt, jene aber, die ungleiche Flächen darbieten, Kombinationen. Das Oktaeder in Fig. 3 auf S. 8 ist eine einfache Form, Fig. 5 stellt eine Kombination dar. Wenn die gleichen Flächen den Raum vollständig umschließen, so nennt man die entsprechende Form eine geschlossene, ist dies nicht der Fall, eine offene. Das Oktaeder ist eine geschlossene Form, die vierseitige Säule an dem Augitkrystall in Fig. 31 ist eine offene Form.

Die Gleichheit der Krystallflächen ist von zweierlei Art. An dem Krystall Fig. 52 sind die vier Flächen o kristallographisch gleich. Bei der Fläche o' folgen die Kanten $o'm$, $o'p$, $o'r$ im Sinne der Uhrzeigerbewegung aufeinander, ebenso bei der Fläche o die gleichen Kanten $o'm$, op , or ; diese beiden Flächen sind kongruent oder deckbar gleich. Schneidet man aus Karton eine Schablone nach o' , so läßt sich diese mit o zur Deckung bringen, so daß Kante über Kante, Ecke über Ecke zueinander passen. Dagegen folgen in der Fläche o , die gleichwertigen Kanten o, m, op, or , entgegengesetzt dem Uhrzeigersinne aufeinander. Eine nach o' zugeschnittene Schablone läßt sich mit o , nicht zur Deckung bringen; die Flächen sind symmetrisch oder spiegelbildlich gleich, d. h. jede ist kongruent mit dem Spiegelbilde der anderen.



Die Symmetrie ist eine gesetzmäßige Erscheinung und die Arten der bei Krystallen möglichen Symmetrie lassen sich aus dem Zonengesetze ableiten. Das allgemeine Gesetz der Symmetrie lautet: An Krystallen können alle jene Wiederholungen von Flächen vorkommen, welche mit dem Zonengesetze oder, anders gesagt, mit dem Parametergesetze vereinbar sind.

Dieses allgemeine Gesetz umfaßt alle die verschiedenen Arten der Flächenwiederholung, die speziellen Symmetriegesetze, deren Ableitung auf geometrischem Wege stattfindet. Diese Ableitung wurde bisher nach sehr verschiedenen Methoden vorgenommen, doch haben alle zu demselben Resultat geführt.

Nach der einen kann man von dem Zonengesetze ausgehen und an der Hand der stereographischen Projektion die Symmetriegesetze aufsuchen. Das Zonengesetz findet nun seinen Ausdruck in dem Neunzonen-System, das die Grundlage aller Krystallformen bildet. Demnach wird zuerst untersucht, welche Modifikationen dieses allgemeinen Zonensystems denkbar erscheinen, wobei sich herausstellt, daß deren sieben möglich sind. Außerdem werden die Grundsätze verfolgt, nach welchen alle Flächenwiederholungen eintreten und wird gefunden, daß die Wiederholung nach fünf, in manchen Fällen nach sieben Prinzipien stattfinden kann. Werden hierauf die Grundsätze auf die sieben Zonensysteme angewendet, so ergibt sich das Resultat, daß im ganzen 32 verschiedene Arten der Symmetrie möglich sind. Diese Methode der Ableitung wird im folgenden benutzt werden.

Nach der einen kann man von dem Zonengesetze ausgehen und an der Hand der stereographischen Projektion die Symmetriegesetze aufsuchen. Das Zonengesetz findet nun seinen Ausdruck in dem Neunzonen-System, das die Grundlage aller Krystallformen bildet. Demnach wird zuerst untersucht, welche Modifikationen dieses allgemeinen Zonensystems denkbar erscheinen, wobei sich herausstellt, daß deren sieben möglich sind. Außerdem werden die Grundsätze verfolgt, nach welchen alle Flächenwiederholungen eintreten und wird gefunden, daß die Wiederholung nach fünf, in manchen Fällen nach sieben Prinzipien stattfinden kann. Werden hierauf die Grundsätze auf die sieben Zonensysteme angewendet, so ergibt sich das Resultat, daß im ganzen 32 verschiedene Arten der Symmetrie möglich sind. Diese Methode der Ableitung wird im folgenden benutzt werden.

Eine andere Art der Ableitung, die von Bravais ausgeführt wurde, hat das Parametergesetz zur Grundlage und sucht die Grundsätze der Flächenwiederholung durch sogenannte Deckoperationen auf. Um von einer Fläche oder einem Komplex von Flächen zu den übrigen gleichen Flächen des Krystalles zu gelangen, wird eine Richtung, die Symmetrieaxe, angenommen, um welche die ideale Krystallform gedreht, nach einer Drehung um einen bestimmten Winkel die Parallelstellung aller Begrenzungselemente zeigt. In der neuen Stellung ist also die Form mit der ursprünglichen identisch. Es zeigt sich nun, daß dem Parametergesetze zufolge, abgesehen von der Drehung um 360° , die hier keine Bedeutung hat, nur

Drehungen um 180° , 120° , 90° und 60° vorgenommen werden können, um identische Stellungen hervorzurufen und man unterscheidet sonach 2-, 3-, 4- und 6zählige Symmetrieachsen. Einem Prisma, dessen Querschnitt ein Quadrat ist, kommt eine vierzählige Symmetrieachse, die allen vier Flächen parallel ist, zu, da bei einer Drehung von 90° zu 90° , also im ganzen viermal, dieselbe Stellung erhalten wird. Einem Prisma, dessen Querschnitt ein reguläres Sechseck ist, kommt eine sechszählige Symmetrieachse zu u. s. w. Die um eine Symmetrieachse gruppierten Krystallflächen sind deckbar gleich.

Eine zweite Operation ist die Spiegelung. Bei dieser werden jene Stellungen einer Fläche oder eines Flächenkomplexes aufgesucht, welche sich zu der ursprünglichen Stellung verhalten wie der Gegenstand zum Spiegelbilde. Die Ebene der Spiegelung heißt Symmetrieebene. Dem Parametergesetze zufolge können sich gleiche Symmetrieebenen nur unter 120° , 90° und 60° , ungleiche unter 90° , 45° und 30° schneiden und es stellt sich heraus, daß die Zahl der möglichen Symmetrieebenen beschränkt ist, da nur Krystalle mit einer, mit 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 9 Symmetrieebenen möglich sind. Eine dritte Operation ist die Inversion, bei der für jede Richtung im Krystall, die durch das Zentrum desselben gelegt wird (Symmetriezentrum), eine gleiche entgegengesetzte Richtung angenommen wird. Eine vierte ist die Verbindung von Drehung und Spiegelung (Drehspiegelung), eine fünfte die analoge Verbindung von Drehung und Inversion (Inversionsdrehung). Die Operationen 2—5 führen zu spiegelbildlich gleichen Krystallflächen.

Diese Operationen für sich oder miteinander kombiniert, liefern die 32 verschiedenen Arten der Symmetrie. Es genügt jedoch, wie Fedorow und Becke zeigten, drei von diesen Operationen zu benutzen.

Die Symmetrie beherrscht nicht bloß die äußere Form, sondern auch den inneren Bau der Krystalle. Denkt man sich von einem Punkte im Inneren des Krystalles Senkrechte auf die Flächen gefällt, so gibt jede dieser Normalen eine Richtung an, die dem Krystall eigentümlich ist. Gleiche Richtungen bleiben sich gleich, auch wenn der Krystall verzerrt aussieht, manche Flächen ausbleiben oder wenn schließlich die Flächenausbildung mangelt. Daher ist die Symmetrie auch an Bruchstücken oder Platten, die aus dem Krystall gewonnen werden, durch physikalische Untersuchung zum Teil oder vollständig erkennbar. Symmetrie ist demnach nicht bloß eine äußere, sondern zugleich eine innere Eigenschaft, vermöge deren dem Krystall beim Wachsen die Tendenz innewohnt, den gleichen Richtungen entsprechende gleiche Flächen zu bilden [9]. Die Zahl der gleichen Richtungen bleibt bestehen, ob die zugehörigen Flächen in Erscheinung treten oder nicht. Die Symmetrie bezieht sich also nicht nur auf die vorhandenen, sondern auch auf die möglichen Flächen und dementsprechend auch auf die möglichen Zonen.

25. Man unterscheidet höhere oder zusammengesetzte und niedere oder einfache Grade der Symmetrie. Die niederen kehren in den zusammengesetzten Graden wieder, sie sind gleichsam die Bausteine, aus denen die höheren Grade aufgebaut sind, sie bilden zusammen mit dem Falle der Asymmetrie die fünf Prinzipien der Formbildung der Krystalle.

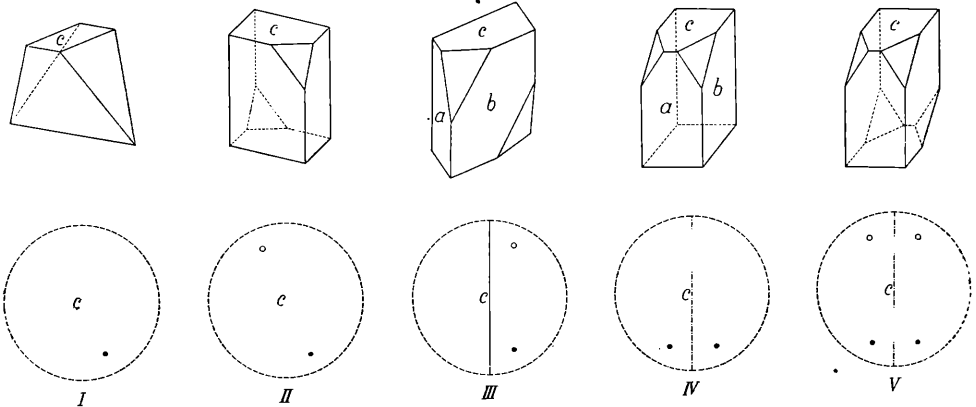
In der einfachsten Art beschrieben lauten sie:

I. Eine Fläche besteht für sich und ist von keiner gleichen Fläche begleitet. Fig. 53, I stellt eine Form dar, an der jede Fläche von den übrigen verschieden ist. Die zugehörige stereographische Projektion auf eine zu c parallele Ebene deutet dieses Gesetz dadurch an, daß in derselben bloß ein Flächenpol angegeben wird.

II. Eine Fläche ist von einer spiegelgleichen Gegenfläche begleitet. An der Form in Fig. II entspricht jeder Fläche eine gleiche dazu parallele. Die Projektion auf c gibt dieses Gesetz in schematischer Weise dadurch an, daß eine Fläche und die dazu parallele verzeichnet werden. Ein Krystall dieser Art besitzt ein Symmetriezentrum.

III. Mit einer Fläche ist eine zweite deckbar gleich. An der Form in Fig. III haben die beiden gleichen dreiseitigen, zu b gleich geneigten Flächen dieselbe Gestalt, so daß die Ecken derselben in der gleichen Reihe aufeinander

Fig. 53.



folgen. Denkt man sich eine zu b senkrechte Axe, so wird die Lage der zweiten Fläche gefunden, wenn die erste um diese Axe um 180° gedreht wird: Hemitropie. Diese Axe ist eine zweizählige Symmetriexaxe. Die Projektion auf c gibt die eine Fläche oberhalb, die andere unterhalb der Projektionsebene an, beide zur selben Seite der Zone ac (Medianzone) gegen diese gleich gelegen. Denkt man sich eine Form, an der die beiden deckbar gleichen Flächen auf der anderen Seite des Krystalles liegen, so ergibt sich eine solche, die sich zu der ursprünglichen verhält wie die linke Hand zur rechten (Enantiomorphie).

IV. Eine Fläche wird von einer nicht parallelen, spiegelbildlich gleichen begleitet. An der Form Fig. IV sind zwei dreiseitige Flächen gleich, die Ecken folgen an der einen Fläche in dem einen, an der anderen Fläche im entgegengesetzten Sinne aufeinander. Die beiden Flächen verhalten sich zueinander wie der Gegenstand zum Spiegelbilde. In der Projektion auf c erscheinen die beiden Flächen zu beiden Seiten der Zone ac in gleicher Lage.

V. Mit einer Fläche ist eine zweite spiegelbildlich gleich und dieselben sind von gleichen Gegenflächen begleitet. In Fig. V sind zwei spiegelbildlich gleiche Flächen in derselben Lage wie im vorigen Falle, ferner die dazu parallelen

gleichen Flächen angegeben. Die Projektion auf c verzeichnet vier gleiche Flächenpole, von denen nun je zwei auf derselben Seite der Zone ac liegende deckbar gleichen, je zwei auf verschiedenen Seiten gelegene spiegelbildlich gleichen Flächen entsprechen. Formen, an denen diese Art der Symmetrie ausgesprochen erscheint, werden holodrische Formen genannt.

Die unter IV und V aufgezählten Prinzipien oder Arten der Symmetrie haben das Gemeinsame, daß sie eine Symmetrieebene mit sich bringen. Durch eine hierhergehörige Form läßt sich eine Ebene legen, welche den Krystall in zwei Hälften so teilt, daß die eine zur anderen sich verhält wie der Gegenstand zum Spiegelbilde. Es ist eine zur Fläche b parallele Ebene. In den Projektionen liegt dieselbe in dem Zonenkreis ac .

Das letzte Prinzip steht in einem wichtigen Zusammenhange mit den drei vorangegangenen. Kombiniert man irgend zwei der Prinzipien II, III und IV, so kommt stets dasselbe Resultat: V heraus. Symmetriezentrum, zweizählige Symmetrieaxe und eine zu dieser senkrechte Symmetrieebene sind so miteinander verknüpft, daß zwei davon immer automatisch das dritte entstehen lassen.

Durch Vergleich der Prinzipien III und IV ergibt sich ferner ein Zusammenhang, der leicht zu bemerken ist. Im Falle III sind zwei deckbar gleiche Flächen gleich angeordnet gegen den einen Pol b . Im Falle IV liegt eine von den beiden spiegelbildlich gleichen Flächen so gegen den Pol b wie die andere gegen den Gegenpol b' . Bei III liegen die Flächen unipolar gegen b , bei IV bipolar. Man kann die letztere Anordnung ableiten, indem man die eine der beiden deckbar gleichen Flächen durch ihre spiegelbildlich gleiche Gegenfläche ersetzt. Die zweizählige Symmetrieaxe in III wird dadurch zur zweizähligen Inversionsaxe bei IV. Das hier sich ergebende Prinzip der Bipolarität lautet: Jeder unipolaren Anordnung einer geraden Anzahl deckbar gleicher Flächen entspricht bei gleicher Zonenlage eine bipolare von spiegelbildlich gleichen Flächen.

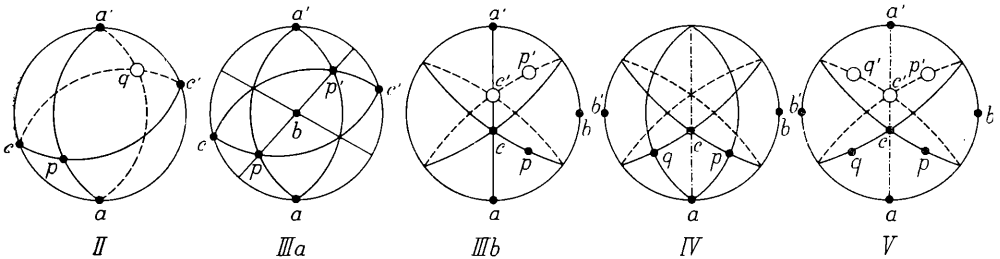
In den Projektionen der Fig. 53 und ebenso in den folgenden Figuren werden einige symbolische Bezeichnungen gebraucht, die zur Erleichterung der Übersicht dienen und die hier ein für allemal erläutert werden sollen. In den Projektionen bedeutet ein voller schwarzer Punkt oder Kreis eine Fläche der Oberseite der Krystallform; ein leerer Kreis eine Fläche der Unterseite. Die Zonen der Oberseite des Krystalls sind durch ausgezogene, die der Unterseite durch gestrichelte Linien und Kreisbögen angedeutet. Fällt mit einem Zonenkreise eine Symmetrieebene zusammen, so ist der Zonenkreis durch eine strichpunktierte Linie dargestellt. Das Vorhandensein des Symmetriezentrums ist in den Projektionen leicht daran zu erkennen, daß zu jedem Punkt der Oberseite der Gegenpol der Unterseite vorhanden ist. Das Vorhandensein einer Symmetrieaxe ist an der Verteilung gleicher Flächen und Zonen zu erkennen. Der Ort, wo eine solche die Projektionskugel trifft, fällt immer mit einem möglichen Flächenpol (Kreuzung zweier Zonen), häufig mit dem Pol einer vorhandenen Fläche (b in den Fig. 53 III und V) zusammen.

Die Symmetrie als das gleichzeitige Auftreten gleicher Flächen in den Kombinationen wurde schon von Haüy hervorgehoben, die Gesetze der einfachen und der zusammengesetzten Symmetrie wurden aber erst von Hessel 1830 erkannt.

Die vier einfachsten Arten der Symmetrie lassen sich in folgender Weise ableiten. Fig. 53a. Die Position einer Fläche p ist bestimmt, wenn die Lage derselben gegen zwei Flächen a und c bekannt ist. Werden, wie in beistehender Fig. II, die Pole der beiden letzteren in den Grundkreis gelegt, die Zonen ausgezogen, so ergeben sich in Distanzen von 180° zwei Pole a' und c' am Grundkreise, ferner einer q auf der Rückseite des Krystalles, welche drei Pole Flächen entsprechen,

die den erstgenannten parallel sind. Die neuen Pole liegen zueinander so wie die ursprünglichen, p und q haben spiegelbildlich gleiche Formen. Werden in IIIa wiederum a und c in den Grundkreis gelegt, die Zonen ausgezogen und wird ein Pol p' auf derselben Seite des Krystalles gesucht, der zu a' und c' so liegt, wie p zu a und c , so wird dieser gefunden, wenn die Bogen $a'p' = ap$ und $c'p' = cp$ eingesetzt werden. Nun ergibt sich, daß auch die Zonen $a'p' = ap$ und $c'p' = cp$. Wenn durch p und p' , ferner durch die nicht mit Buchstaben bezeichneten Zonenschnitte zwei Zonen gelegt werden, so erhält man die Position eines Poles b , der von a, c, a', c' durchwegs um 90° entfernt ist. Die Annahme, daß auf derselben Seite des Krystalles eine mit p gleiche Fläche vorkomme, setzt demnach ein bestimmtes Zonensystem voraus, in welchem eine Zone ac (Medianzone) vorkommt, in deren Axe ein Flächenpol b liegt. Die durch diesen laufenden Zonen sind alle senkrecht zur Medianzone, die anderen Zonen sind paarweise gleich (monoklines Zonensystem). Wird der Krystall um 90° gedreht, so daß in der Projektion die Medianzone durch

Fig. 53a.



den Mittelpunkt des Grundkreises gelegt ist, und werden bloß die Zonen cp und $c'p'$ ausgezogen, so ergibt sich die Fig. IIIb. Denkt man sich bei gleicher Zonenlage p und p' auf der anderen (linken) Seite des Krystalles, so erhält man die Projektion der mit der vorigen enantiomorphen Form. Werden in Fig. IV dieselben Zonen angenommen und wird der Bogen $cq = cp$ eingesetzt, so ist damit ein Pol q gefunden, der zu den übrigen Flächen so liegt wie der ursprüngliche p . Dieser und q sind Pole spiegelbildlich gleicher Flächen, die Zone ac wird zur Symmetrieebene. Die Bedingung der Flächengleichheit wird schließlich auch dadurch erfüllt, daß außer p und q auch die Pole der Gegenflächen q' und p' eingesetzt werden, Fig. V. Die vier Flächen sind zueinander und zu den übrigen Flächen des Krystalles gleich gelagert. Die Ebene der Zone ac ist in IV und V Symmetrieebene, ihr Pol b in III und V eine zweizählige Symmetrieaxe.

26. Krystallsysteme. Nach der Gleichheit der Zonensysteme und Axensysteme werden die Krystallformen in 7 Abteilungen gebracht, welche Krystallsysteme genannt werden.

Die Symmetrie spricht sich in der Art und Lage der vorhandenen und der möglichen Zonen aus. Diese zeigen an den symmetrischen Formen ein bestimmtes Verhalten und manche derselben durchschneiden einander unter bestimmten Winkeln. Jedem Krystallsystem kommt ein bestimmt charakterisiertes Zonensystem und ein entsprechendes Axensystem zu.

1. Die erste Abteilung umfaßt Formen, die entweder keine gleichen Flächen aufweisen oder an denen jeder Fläche nur die Gegenfläche gleich ist (Prinzip I und II). Diese Formen sind asymmetrisch. Dementsprechend sind alle Zonen ungleich. Diese Abteilung wird das trikline Krystallsystem genannt. Ein Beispiel gibt der Albitkrystall in Fig. 54 mit der zugehörigen Projektion Fig. 55, die so entworfen ist, daß die Prismenzone TlM in den Grundkreis fällt. Das Zonensystem ist irregulär. Die drei Axen bilden schiefe Winkel und sind ungleich.

2. Zur zweiten Abteilung rechnet man jene Formen, denen eine Medianzone zukommt, d. i. eine Zone, zu der die übrigen senkrecht oder zu zweien gleich geneigt sind: Monoklines Krystallsystem (Prinzip III, IV, V).

Als Beispiel dient der Orthoklaskrystall in Fig. 56, dessen Projektion in Fig. 57 die genannte Eigenschaft zeigt. Zu der Medianzone Pyx sind die Zonen PnM und $Mo x$ senkrecht. Die beiden Zonen $Pl o$ und die beiden Zonen $ny o$ bilden dazu gleich geneigte Paare.

Fig. 54.

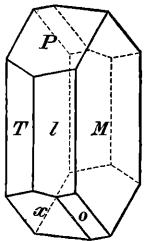


Fig. 55.

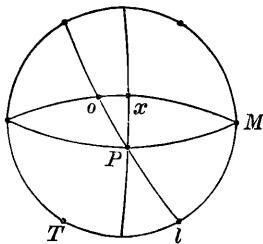


Fig. 56.

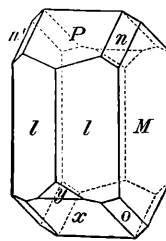
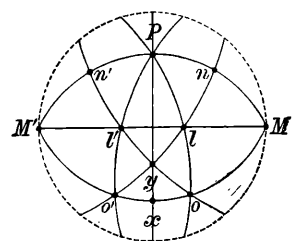


Fig. 57.



Die Medianzone ist eine einfache Zone, sie zeigt außer etwa vorkommenden Gegenflächen keine Flächenwiederholung. Die drei Axen sind ungleich. Die Richtung der einen ist als Axe der Medianzone gegeben. Sie ist senkrecht zu den beiden anderen, die in der Ebene der Medianzone liegen.

3. Zur dritten Abteilung werden solche Formen gezählt, welche drei ungleiche, zueinander senkrechte Zonen erkennen lassen: Rhombisches Krystallsystem.

Ein Beispiel hat man an dem Barytkrystall in Fig. 58, dessen Projektion in Fig. 59 verzeichnet ist. Die Zonen Mk , ok , dP sind ungleich und zueinander senkrecht. Sie sind binäre Zonen, denn auch abgesehen von Gegenflächen zeigen sich in jeder der drei Zonen Flächenwiederholungen. So wiederholt sich M in der einen, o in der zweiten, d in der dritten Zone.

Fig. 58.

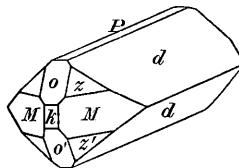
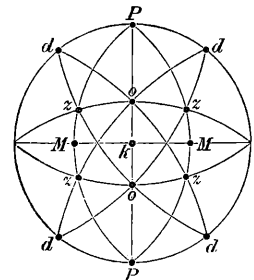


Fig. 59.



Die drei ungleichen, zueinander senkrechten Axen entsprechen den Axen der drei fixen Zonen.

4. Die vierte Abteilung befreit jene Formen, die sich auf drei gleiche, einfache, im Wirtel unter 120° gestellte Zonen beziehen. In zweiter Linie treten auch drei im selben Wirtel zu den vorigen senkrechte und eine zu allen diesen senkrechte Zone hinzu: Trigonales Krystallsystem.

Als Beispiel kann der in Fig. 60 abgebildete Calcitkrystall dienen. In der Projektion Fig. 61 sind drei Zonen af bemerkbar, die sich im selben Pol, der in der Mitte des Grundkreises liegt, schneiden. Wenn von den gleichen Punkten dieser Zonen gezählt wird, sind die Winkel, unter denen sie zusammentreffen, 120° .

Diese Zonen sind einfache Zonen und sind zu den beiden Seiten des mittleren Pols ungleich. Zu diesen drei Zonen ist die am Krystall horizontale Zone aa senkrecht. Wo die letztere von den Zonen fv getroffen wird, ergeben sich sechs

Fig. 60.

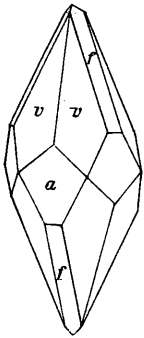
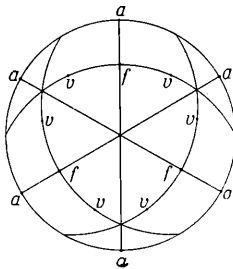


Fig. 61.



Pole möglicher Flächen, die, mit dem Pol im Mittelpunkte des Grundkreises verbunden, die drei sekundären gleichen Zonen liefern würden.

Für dieses System werden drei gleiche horizontale Axen angenommen, welche den Axen dreier gleichen Zonen entsprechen, und eine vierte ungleiche, zu den vorigen senkrechte Axe, der Axe der Zone aa entsprechend.

5. Die fünfte Abteilung umfaßt solche Formen, die auf zwei gleiche, zueinander senkrechte Zonen führen. In zweiter Linie treten zwei untereinander gleiche, von den vorigen verschiedene Zonen hinzu, die mit den vorigen einen Wirtel bilden und den Winkel derselben halbieren, endlich eine zu allen diesen senkrechte Zone:

Fig. 62.

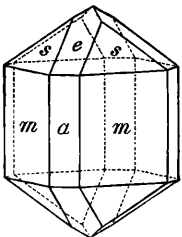
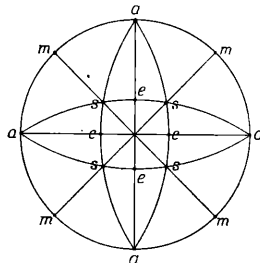


Fig. 63.



Tetragonales Krystallsystem.

In dem Beispiel des Zinnerzkry-
stalles, Fig. 62, dessen Projektion Fig. 63,
sind zwei gleiche, zueinander senkrechte
Zonen ms zu bemerken, außerdem zwei
gleiche Zonen ae , deren Zonenkreise die
Winkel der vorigen halbieren. Diese vier
Zonen schneiden sich im Mittelpunkte

des Grundkreises. Senkrecht zu denselben verläuft die Zone am .

Hier entsprechen zwei gleiche horizontale Axen den Axen zweier gleichen

Zonen, die dritte, ungleiche, zu den beiden
vorigen senkrechte Krystallaxe ist die Axe
der Zone am .

Fig. 64.

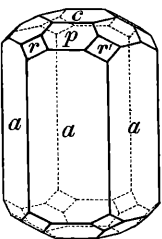
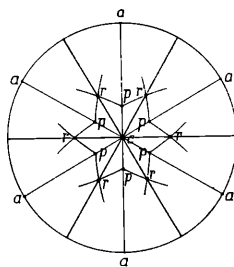


Fig. 65.



6. Zur sechsten Abteilung werden jene Formen gezählt, deren Zonensystem drei gleiche, binäre, im Wirtel unter 60° gestellte Zonen aufweist. In zweiter Linie treten auch drei im selben Wirtel zu den vorigen senkrechten Zonen hinzu, endlich eine zu allen diesen senkrechte

Zone: Hexagonales Krystallsystem.

An dem Beryllkrystall, Fig. 64, fallen sogleich drei Zonen ap auf und in der Projektion Fig. 65 erscheint jede derselben zu beiden Seiten des Poles c gleich; sie sind binäre Zonen. Durch Verbindung der Pole r mit c folgen drei andere Zonen, die Winkel der vorigen halbierend, und die am stärksten ausgebildete

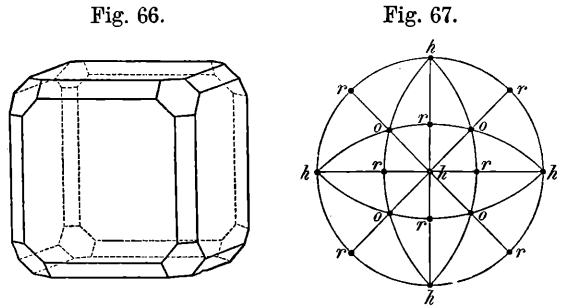
Zone aa ist zu allen den vorgenannten sechs Zonen senkrecht gestellt. Für die hexagonalen Krystalle pflegt man dasselbe Axensystem anzunehmen, das für das trigonale System angeführt wurde.

7. Die letzte Abteilung begreift solche Formen, deren Zonensystem dadurch ausgezeichnet ist, daß nicht nur sechs gleiche Zonen erster Art auftreten, die sich zu zweien und zu dreien schneiden, sondern auch noch drei gleiche, zueinander senkrechte Zonen zweiter Art hinzutreten: Tesserales Krystallsystem.

Der Bleiglanzkrystall, Fig. 66, ist ein hierhergehöriges Beispiel. Die Form ist ein Würfel mit abgestumpften Ecken und Kanten. Die drei zu den längsten Kanten senkrechten, in der Projektion Fig. 67 mit hr bezeichneten drei Zonen sind jene zweiter Art, die sechs übrigen jene der ersten Art.

Die drei gleichen Axen sind senkrecht zueinander. Sie entsprechen den Axen der Zonen zweiter Art.

Jedes der angeführten Krystallsysteme zerfällt in Unterabteilungen. Die benutzten Beispiele gehören sämtlich jener Unterabteilung an, welche die holoedrische genannt wird.



Die Ableitung der Zonensysteme, welche den sieben Krystallsystemen entsprechen, geht wiederum von vier Flächen aus, deren nicht drei in einer Zone liegen. Diese führen auf ein Neunzonensystem [21], und zwar:

1. Zunächst auf ein solches, in dem keine Zone der anderen gleich ist, Fig. 68. Triklines Zonensystem.
2. Wird jedoch angenommen, daß zwei Zonen einander gleich sind und wird der Anfang mit zwei Zonen erster Art gemacht, die sich zu vierten in einem Punkte c schneiden, so folgt daraus, daß diese beiden Zonen pc und qc zu der Zone ac (Medianzone) gleich geneigt, auch zu der Zone bc gleich geneigt sind und es wird ein monoklines Zonensystem, Fig. 69, erhalten.
3. Geht man in der Gleichstellung der Zonen des viergliedrigen Punktes c weiter, so kann man an das monokline Zonensystem anknüpfen (Fig. 70, in der einige Zonen weggelassen sind) und erstlich annehmen, daß nicht bloß zwei, sondern mehr Zonenstücke einander gleich sind. Beginnt man damit, daß nicht bloß die Zonenstücke $m_1c = m_2c$, sondern auch $m_1c = m_3c$ und $m_2c = m_4c$, so folgt $m_1c = m_2c = m_3c = m_4c = 90^\circ$. Durch Drehung des ganzen Zonensystems im Betrage von 180° um die Normale von c wird m_1c mit m_3c , m_2c mit m_4c vertauscht, ohne daß das Zonensystem geändert wird. Wird diese ausgeführt, so bringt dies keine weitere Veränderung hervor, als daß jede der vier Zonen zu beiden Seiten von c gleich, also binär wird. Die Bogen ac , bc und ab messen jetzt 90° , wonach sich ein rhombisches Zonensystem mit drei fixen, ungleichen, zueinander senkrechten Zonen ergibt, Fig. 71. Der Winkel zwischen den Zonen mc wird für jede Art rhombischer Krystalle ein anderer sein.
4. Wird ferner angenommen, daß die Bogen m_1c , m_2c und $a'c$ gleich seien, so werden diese Bogen je 90° messen. Denkt man sich $a'c$ nach m_2c versetzt, so wird bei der entsprechenden Drehung m_2c nach m_1c und m_1c nach $a'c$ zu liegen kommen. Die Winkel zwischen den drei

gleichen Zonen sind sonach gleich und betragen 120° . Diese drei Zonen sind einfache Zonen, sie verhalten sich zu beiden Seiten des Poles c ungleich und dieser Charakter wurde bei der Ableitung nicht geändert. Im Bilde Fig. 72 ist derselbe durch ein stärkeres Ausziehen der Hälfte dieser Bogen angedeutet. Die Medianzone ac bringt eine dazu senkrechte bc mit sich und dies überträgt sich auf die beiden übrigen mit ac gleichen Zonen. Dies liefert einen zweiten Wirtel

Fig. 68.

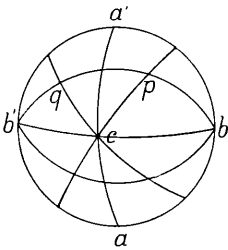


Fig. 69.

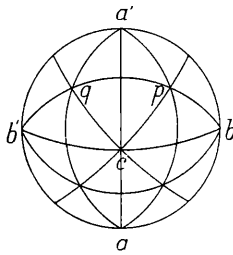


Fig. 70.

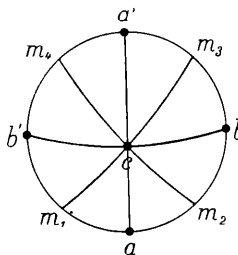
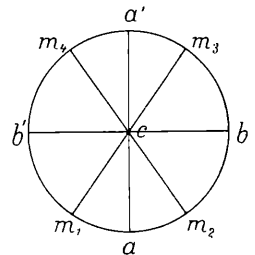


Fig. 71.



von Zonen, die Winkel der vorigen halbierend, und es fügt sich zu allen diesen die Zone am . Trigonales Zonensystem, Fig. 72.

5. Die fernere Annahme lautet dahin, daß die Zonenstücke m_1c , m_2c , m_3c und m_4c gleich und vertauschbar seien. Dies ergibt $mc = 90^\circ$. Durch eine Drehung, welche m_3c nach m_2c versetzt, kommt m_2c nach m_1c zu liegen, folglich beträgt die Drehung und der Winkel, den die beiden

Fig. 72.

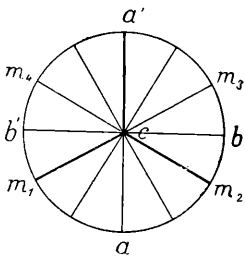


Fig. 73.

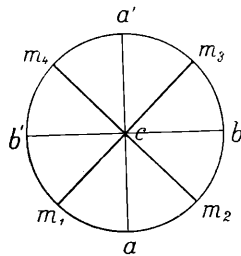


Fig. 74.

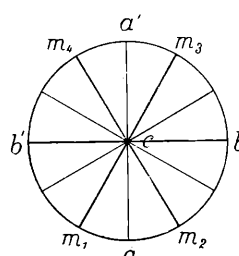
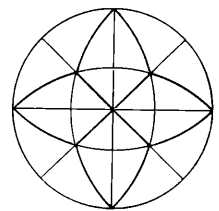


Fig. 75.



Zonen miteinander bilden, je 90° . Dabei lagert sich bc auf ac , was die Gleichheit dieser beiden Zonen bedeutet. Von allen übrigen verschieden bleibt die Zone am . Tetragonales Zonensystem, Fig. 73.

6. Wenn weiter angenommen wird, daß die Zonenstücke m_1c , m_2c und bc gleich seien, so folgt, weil $bc = 90^\circ$, daß auch m_1c und m_2c 90° messen. Die Drehung von bc nach m_2c versetzt m_2c nach m_1c und es ergibt sich die Gleichheit der Winkel zwischen den drei Zonen, die sich unter 60° treffen. Die Zone bc bringt die dazu senkrechte ac mit sich, daher drei gleiche Zonen zweiter Art im selben Wirtel angegeben werden. Die Zone am ist von allen vorigen verschieden. Hexagonales Zonensystem, Fig. 74. Der Unterschied gegenüber dem trigonalen beruht darin, daß in dem hexagonalen die gleichen Zonen m_1c , m_2c , bc zu beiden Seiten des Poles c gleich, demnach binäre Zonen sind.

7. Die Annahmen fernerer Gleichheiten unter den neun Zonen liefern keinen neuen Fall bis auf eine, die sich auf die dreigliedrigen Durchschnitte der Zonen erster Art bezieht. Geht man von einem monoklinen Zonensystem aus, Fig. 69, und nimmt man an, daß die

drei Zonen $a'p$, bp und cp gleich seien, so erhält man, weil $bc = 90^\circ$, das Resultat: $a'c = bc = a'b = 90^\circ$, ferner wenn jetzt die gleichen zuletzt genannten Zonen vertauscht gedacht werden, was Drehungen um 90° entspricht, die Gleichheit aller dreigliedrigen Punkte, also die Gleichheit aller sechs Zonen der ersten Art. Dies führt auf das tesserale Zonensystem, Fig. 75. Hier sind die Bogen, welche die dreigliedrigen und viergliedrigen Punkte zunächst verbinden, stärker angelegt.

Da keine anderen Fälle von Gleichheit in dem Neun-Zonensystem möglich sind, so beschränkt sich die Zahl der Krystallsysteme auf sieben. Früher, als die Ableitung noch nicht vollkommen konsequent durchgeführt war, pflegte man sechs Systeme anzunehmen, indem das trigonale als eine Abteilung des hexagonalen betrachtet wurde.

Über die Krystallsysteme s. Groth, Physikalische Krystallographie, 3. Aufl., S. 324. Die vorstehende Ableitung wurde von G. Tschermak in der Zeitschr. f. Krystallographie, Bd. 39, gegeben.

27. Krystallklassen. Die Krystallsysteme geben sieben Gattungen der Symmetrie an, deren jede zwei oder mehrere Arten umfaßt, so daß im ganzen 32 Arten unterschieden werden, die Krystallklassen genannt werden. Jede derselben stellt eine besondere Stufe der Symmetrie innerhalb jedes der Krystallsysteme dar. Den Anfang machen die fünf einfachsten Arten der Symmetrie. Zwei derselben bilden das triklone, drei das monokline Krystallsystem, zusammen fünf Stufen. Das rhombische System zählt drei Klassen oder Stufen. In den folgenden Systemen tritt eine zusammengesetzte Symmetrie auf, indem sich die Erscheinungen der einfachen infolge der Gleichheit von Zonen wiederholen.

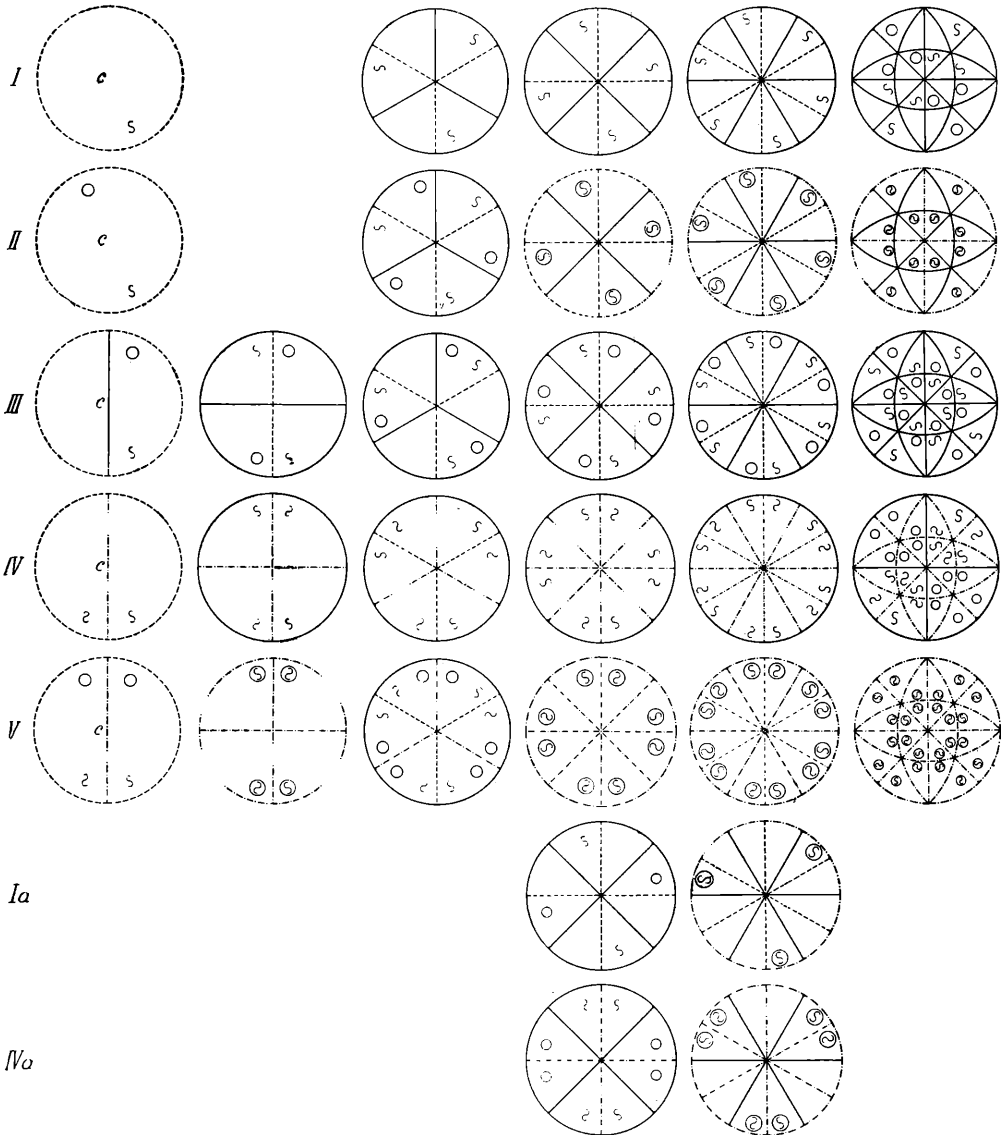
Im trigonalen Systeme, das drei gleiche einfache Zonen aufweist, wird ein Flächenpol, der außerhalb der fixen Zonen angenommen wird, dreimal auftreten und es gilt jetzt das Prinzip I bezüglich jeder der drei Zonen. (Erste Stufe.) S. Fig. 76. Wird zu jedem dieser Pole auch der Gegenpol angenommen, so gilt das Prinzip II für jede der drei Zonen. (Zweite Stufe.) Werden bezüglich derselben je zwei Flächen gemäß dem Prinzip III angenommen, so ergibt sich die Stufe trigonal III. Durch die Annahme je zweier spiegelbildlich gleicher Flächen bezüglich jeder der drei Zonen wird die Stufe trigonal IV erhalten und durch Zufügen der Gegenflächen die Stufe trigonal V. So erhält man für das trigonale System fünf Klassen oder Stufen der Symmetrie. Für alle Stufen ist eine dreizählige vertikale Symmetrieaxe charakteristisch.

Im tetragonalen Systeme, dem je zwei gleiche binäre Zonen zukommen, wird ein Flächenpol, der außerhalb der fixen Zonen angenommen wird, viermal auftreten und es gilt jetzt das Prinzip I bezüglich der gleichen Stellen in dem Zonensysteme: Stufe I. Die Annahme der Gegenflächen zu jeder der vorgedachten Flächen führt auf die zweite Stufe nach Prinzip II und in analoger Weise werden die Stufen tetragonal III, IV und V abgeleitet. Hier ist überall eine vertikale vierzählige Symmetrieaxe vorhanden. Diesen fügen sich aber hier noch zwei Klassen zu. Auf das erste Schema, das vier um den Pol c regelmäßig verteilte Pole anzeigt, läßt sich nämlich das Prinzip der Bipolarität anwenden, indem statt jeder zweiten Fläche deren Gegenfläche angenommen wird. Dies ergibt die Zwischenstufe Ia . Ferner wird bei dessen Anwendung auf das Schema unter IV, das acht um den Pol c gruppierte Pole darbietet, die Stufe IVa erhalten. Die Vertikalaxe ist hier

nur zweizählige Symmetrieaxe, sie hat aber den Charakter einer vierzähligen Inversionsaxe.

Im hexagonalen System ist die Ableitung ganz konform der vorigen und es ergeben sich auch hier im ganzen sieben Klassen oder Stufen. Die Vertikalaxe ist bei I—V sechszählige, bei Ia und IVa dreizählige Symmetrieaxe.

Fig. 76.



Übersicht der Krystallklassen.

Triklin-
Monoklin

Rhombisch

Trigonal

Tetragonal

Hexagonal

Tesseral

Im tesserale System, dem sechs gleiche binäre Zonen zukommen, werden im einfachsten Falle zwölf gleiche Flächen eintreten und man erhält durch die ferneren Ableitungen noch vier, im ganzen fünf Klassen. Für alle tesserale Klassen sind dreizählige Symmetrieachsen charakteristisch, die den Durchschnitts-

System	Stufe	Symmetrie- achsen	Symmetrie- ebenen	Symmetrie- zentrum	Bemerkung
Triklin	I	—	—	<i>C</i>	—
	II	—	—	—	—
Monoklin	III	D^2	—	—	D^2 polar
	IV	—	<i>S</i>	—	—
	V	D^2	<i>S</i>	<i>C</i>	—
Rhombisch	III	$1+1+1D^2$	—	—	—
	IV	$1D^2$	$1+1S$	—	D^2 polar
	V	$1+1+1D^2$	$1+1+1S$	<i>C</i>	—
Trigonal	I	Δ^3	—	—	Δ^3 polar
	II	Δ^3	—	<i>C</i>	—
	III	$\Delta^3 \quad 3D^2$	—	—	Die $3D^2$ polar
	IV	Δ^3	$3S$	—	Δ^3 polar
	V	$\Delta^3 \quad 3D^2$	$3S$	<i>C</i>	—
Tetragonal	I	Δ^4	—	—	Δ^4 polar
	II	Δ^4	Σ	<i>C</i>	—
	III	$\Delta^4 \quad 2+2D^2$	—	—	—
	IV	Δ^4	$2+2S$	—	Δ^4 polar
	Ia	Δ_i^4	—	—	} $\Delta_i^4 = \Delta^2$
	IVa	$\Delta_i^4 \quad 2D^2$	$2S$	—	
	V	$\Delta^4 \quad 2+2D^2$	$\Sigma \quad 2+2S$	<i>C</i>	—
Hexagonal	I	Δ^6	—	—	Δ^6 polar
	II	Δ^6	Σ	<i>C</i>	—
	III	$\Delta^6 \quad 3+3D^2$	—	—	—
	IV	Δ^6	$3+3S$	—	Δ^6 polar
	Ia	Δ_i^6	Σ	—	} $\Delta_i^6 = \Delta^3$
	IVa	$\Delta_i^6 \quad 3D^2$	$\Sigma \quad 3S$	—	
	V	$\Delta^6 \quad 3+3D^2$	$\Sigma \quad 3+3S$	<i>C</i>	Die $3D^2$ polar
Tesseral	I	$3D^2 \quad 4D^3$	—	—	Die $4D^3$ polar
	II	$3D^2 \quad 4D^3$	3Σ	<i>C</i>	—
	III	$3D^4 \quad 4D^3 \quad 6D^2$	—	—	—
	IV	$3D^2 \quad 4D^3$	$6S$	—	Die $4D^3$ polar
	V	$3D^4 \quad 4D^3 \quad 6D^2$	$3\Sigma \quad 6S$	<i>C</i>	—

linien der sechs Zonenebenen erster Art entsprechen; diese Symmetrieachsen zeigen, wenn sie vertikal aufgestellt werden, vollkommene Ähnlichkeit mit derselben Stufe des trigonalen Systems; bei I und IV haben sie polaren Charakter.

Im rhombischen System ist keine der drei fixen binären Zonen der anderen gleich. Hier würde man durch Anwendung des Prinzips I ein Schema wie monoklin III erhalten, zugleich mit drei rechtwinkligen Zonen, was ein Widerspruch ist, weshalb die Stufe rhombisch I wegfällt. Gleiches gilt von der Anwendung des Prinzips II, die auf ein Schema wie monoklin V leitet, das aber mit drei im rechten Winkel gestellten Zonen verbunden wäre. Demnach sind im rhombischen System nur die Prinzipie III, IV und V in bezug auf eine fixe binäre Zone anwendbar, was zu den Stufen rhombisch III, IV und V leitet.

Die aus dem gleichen Prinzipie abgeleiteten Klassen weisen immer auf den gleichen Ursprung hin. Alle dem Prinzip I folgenden Formen haben unsymmetrische Flächen, die von den allenfalls auftretenden Gegenflächen verschieden sind. Die den Flächen entsprechenden Normalen sind einseitig, sind polar, die Formen enantiomorph. Die nach II abgeleiteten Formen sind parallelfächig ohne oder mit einer reduzierten Anzahl von Symmetrieebenen. Die nach III abgeleiteten Formen haben keine Symmetrieebene, zeigen die Erscheinung der hemitropen Flächenanordnung und Enantiomorphie. Die dem Prinzip IV entsprechenden Formen zeigen ein polares Verhalten und weisen Symmetrieebenen auf. Die nach V abgeleiteten Formen sind parallelfächig und bieten die höchste Anzahl von Symmetrieebenen dar.

Über Zahl und Art der Symmetrieelemente, d. i. der Symmetrieachsen, der Symmetrieebenen, ferner über Auftreten oder Fehlen des Symmetriezentrums in den 32 Symmetrieklassen der Krystalle gibt die Tabelle S. 45 Auskunft. Es bedeutet D^n eine n zählige Symmetrieaxe, Δ^n eine einzelne n zählige Symmetrieaxe (Hauptaxe), S eine Symmetrieebene, Σ eine Hauptsymmetrieebene, C das Symmetriezentrum, Δ_i^n ist eine n zählige Inversionsaxe.

Während das Parametergesetz in anderer Form schon von Haüy erkannt war, das Zonengesetz durch Neumann entwickelt wurde, erfuhr die Symmetrie lange Zeit hindurch eine bloß deskriptive Behandlung. Die Krystalssysteme und deren Abteilungen wurden aus den Beobachtungen der Krystalle sehr unvollständig abgeleitet. Hessel gab 1830 zuerst eine geometrische Ableitung der 32 Klassen (s. Ostwalds Klassiker, Nr. 88, 89), jedoch in einer schwer verständlichen Darstellung, die keine Leser fand. Auch die von Bravais 1849 und von Gadolin 1867 veröffentlichten Abhandlungen über die Lehre von der Symmetrie (Ostwalds Kl., 17 und 75) wurden wenig beachtet, bis die von mehreren Seiten, von Curie, Minnigerode, Fedorow, Schönflies, Sohncke (s. Zeitschr. f. Krist., Bd. 18, S. 486) und nach verschiedenen Methoden gegebene Formulierung der Symmetriegesetze die Aufmerksamkeit auf dieses Gebiet lenkte, wozu die Lehrbücher von v. Lang, Liebisch, v. Groth wesentlich beitrugen. Durch die Aufnahme dieser Gesetze in ihren Apparat wurde die Krystallographie zu einer Umgestaltung in Anordnung, Nomenklatur und Symbolisierung der Formen genötigt.

28. Hemimorphie. Die Ableitung der Formen ging früher von den höchsten Symmetriegraden, von den holoedrischen Klassen aus und gelangte durch ein regelmäßiges Weglassen von Symmetrieebenen und von Flächen zu den anderen Klassen desselben Krystalldystems.

In jenen Systemen, die eine von den übrigen verschiedene Krystallaxe aufweisen, läßt sich aus der holoedrischen einfachen Form eine neue ableiten durch die Annahme, daß die beiden Richtungen jener Axe sich ungleich verhalten, die Axe polar sei. Demnach erschien die abgeleitete Form bisweilen wie die Hälfte der holoedrischen und die Erscheinung wurde als Hemimorphie bezeichnet.

Fig. 77.

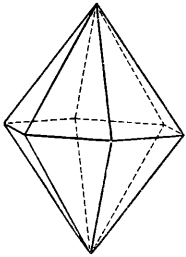


Fig. 78.

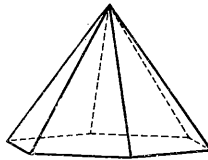


Fig. 79.

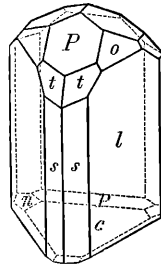
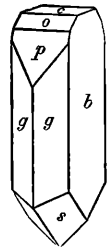


Fig. 80.



Von der hexagonalen Pyramide in Fig. 77 leitet sich die hemimorphe Gestalt in Fig. 78 ab, die an dem einen Ende der Vertikalaxe Pyramidenflächen, an dem anderen eine Endfläche zeigt. Von den zwölf Flächen der Pyramide sind nur sechs vorhanden, von dem Endflächenpaar nur die eine Fläche.

Der trigonale Turmalinkrystall in Fig. 79 zeigt die hemimorphe Bildung deutlich ausgeprägt, ebenso der rhombische Kieselzinkerzkrystall in Fig. 80. Diese Art der Ableitung führt im rhombischen, trigonalen, tetragonalen und hexagonalen System von der Stufe V auf die Stufe IV, im monoklinen von der Stufe V auf die Stufe III.

Fig. 81.

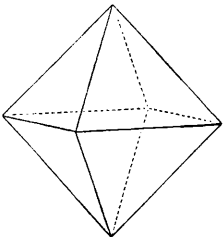


Fig. 82.

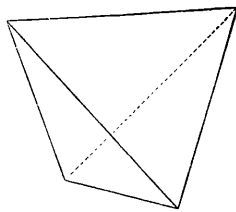


Fig. 83.

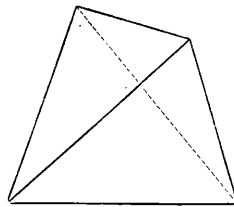
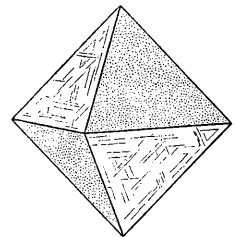


Fig. 84.



29. Hemiedrie, Tetartoedrie. Von den einfachen Formen der holoedrischen Klassen wurden ferner neue abgeleitet, indem von den gleichen Flächen der holoedrischen Form bloß die abwechselnden als gleich angenommen wurden. Nach dieser Annahme sind die zwischenliegenden Flächen entweder nicht vorhanden oder den vorigen physikalisch ungleich. Die erhaltenen neuen Formen haben bloß halb so viele Flächen wie die ursprünglichen. Das Verhältnis dieser Formen zu den holoedrischen wird als Hemiedrie bezeichnet.

Als Beispiel mag die Ableitung aus dem Oktaeder Fig. 81 dienen. Werden von den acht Flächen dieser holoedrischen Form bloß die abwechselnden als vorhanden angenommen, so gelangt man zu einem Tetraeder als hemiedrischer Form in zwei korrelaten Stellungen, Fig. 82, 83. Der Blendekrystall in Fig. 84 zeigt

die Hemiedrie in anderer Weise, indem die Form zwar geometrisch dem Oktaeder gleicht, von den begrenzenden Flächen aber nur die abwechselnden gleiche Beschaffenheit zeigen. Die Form ist sonach keine einfache, sondern eine Kombination zweier Tetraeder, die, wenn sie für sich gedacht werden, korrelate Stellungen darbieten. Durch die Ableitung mittels der Hemiedrie gelangt man von der Stufe V der Krystallssysteme zu den Stufen III und II. Im tesserale System wurde auch die Stufe IV durch Hemiedrie abgeleitet, ferner im tetragonalen und hexagonalen Systeme die Stufe IV *a*.

Aus den hemiedrischen Formen von mehr als vier gleichen Flächen wurden durch eine neuerliche Ableitung nach dem Grundsatz der Hemiedrie neue Formen erhalten, die nur den vierten Teil jener Flächen darbieten, welche dem holoedrischen eigen sind. Das Verhältnis dieser Formen zu den holoedrischen wird als Tetartoedrie bezeichnet. Demnach wurden die Formen, welche den Stufen I des trigonalen, tetragonalen, hexagonalen und tesserale Systemes zugehören, tetartoedrische Formen genannt.

Nach dieser Methode der Ableitung der Klassen oder Stufen richtete sich auch die Nomenklatur derselben und die Gestalt der entsprechenden Symbole. Die einzelnen Stufen der Krystallssysteme wurden demnach hemimorphe, hemiedrische und tetardoedrische genannt und zur Unterscheidung der Symbole dieser Stufen von jenen der holoedrischen erhielten die Symbole der hemiedrischen und der tetardoedrischen Abteilungen bestimmte Anhängsel.

Da jedoch bei der Beschreibung der Krystallformen das Symmetriegesetz durch Angabe des Krystallsystems und der Stufe vollständig angegeben erscheint, so werden im folgenden diese Anhängsel als überflüssig weggelassen. Zur Anknüpfung an die frühere Nomenklatur sind in der Anführung der einzelnen Stufen auch die älteren Namen mitbenutzt. Groth hat jeder Klasse einen besonderen Namen gegeben. Diese Bezeichnungen sind den älteren beigelegt.

30. Einfache Formen. In jeder Krystallklasse unterscheidet man in geometrischer Beziehung sieben Arten einfacher Formen, entsprechend den sieben Flächentypen [17].

Werden in einem Krystall des triklinen Systemes unter den möglichen Kantenrichtungen drei für die Krystallaxen ausgewählt, so sind damit willkürlich drei Zonen bevorzugt, welche in der stereographischen Projektion, Fig. 85, acht sphärische Dreiecke liefern. In den Schnittpunkten der drei Zonen liegen (1) die Pole der Endfläche 001, (2) der Längsfläche 010, (3) der Querfläche 100, zwischen diesen (4) die Pole der Längsprismafläche OkL , (5) der Querprismafläche hOl , (6) der aufrechten Prismafläche $hk0$ und außerhalb dieser drei Zonen (7) die Pyramidenfläche hkl . In diesem Systeme ist die Unterscheidung der einfachen Formen eine willkürliche und dient bloß der Bezeichnung der Flächen gemäß dem Parametersetze.

An den Krystallen des monoklinen Systems herrscht die Medianzone, womit die Richtung einer Krystallaxe und die Lage der Längsfläche $b = 010$ gegeben sind, während die beiden anderen Axen aus den in dieser Fläche liegenden Kanten gewählt werden. Die Unterscheidung und Bezeichnung der sieben einfachen Formen, Fig. 86, entspricht jener in dem vorigen Systeme.

Im rhombischen Systeme geben die drei fixen Zonen drei zueinander senkrechte Axen an, wonach die drei Flächenpaare (1), (2), (3) eine vorausbestimmte Lage haben, Fig. 87. Auch hier bleiben die einfachen Formen so benannt, wie im vorigen Falle.

Für die folgenden Krystallsysteme gibt die Projektion des entsprechenden fixen Zonensystems eine Wiederholung von sphärischen Dreiecken an. In jedem solchen Dreieck unterscheidet man wiederum sieben verschiedene Lagen der Flächen, entsprechend den sieben einfachen Formen, so in der Projektion eines

Fig. 85.

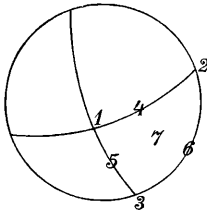


Fig. 86.

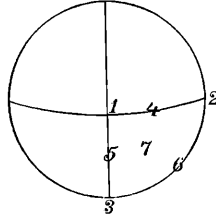
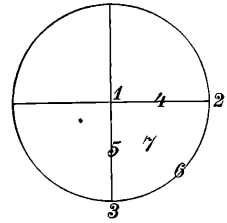


Fig. 87.



tetragonalen Krystalles, Fig. 88. Die Punkte (1) = 001, (2) = 110, (3) = 100 sind wiederum drei Pole invariabler Lage, die übrigen haben veränderliche Indizes (4) = hhl , (5) = $h0l$, (6) = hko , (7) = hkl .

Ein anderes Beispiel gibt die Projektion der fixen Zonen des tesseralen Krystallsystems in Fig. 89. Hier erscheinen 48 gleiche, sphärische Dreiecke. Die Punkte (1) = 100, (2) = 110, (3) = 111 sind auch wieder Pole invariabler Lage, die anderen sind variabel, (4) = hko , (5) = hkk , (6) = hkk , (7) = hkl .

Wie viele Flächen miteinander eine einfache Form bilden, ergibt sich aus dem Zonenschema jeder Klasse [27], aus dem zu erkennen ist, welche Orte einander gleich sind, also gleichzeitig mit Flächenpolen besetzt sein müssen.

Fig. 88.

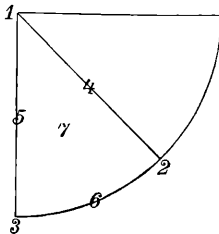
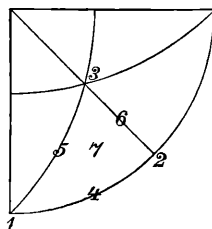


Fig. 89.



Im triklinen und monoklinen Systeme sind alle einfachen Formen offene Formen. Erst mit dem rhombischen Systeme beginnen auch geschlossene Formen aufzutreten und im tesseralen Systeme sind alle einfachen Formen geschlossene.

31. Flächensymmetrie. Wenn die Flächen sowohl ihrer Form nach als auch bezüglich der Gleichheit der dieselben be-

grenzenden Kanten klassifiziert werden, so ergeben sich mehrere Arten derselben.

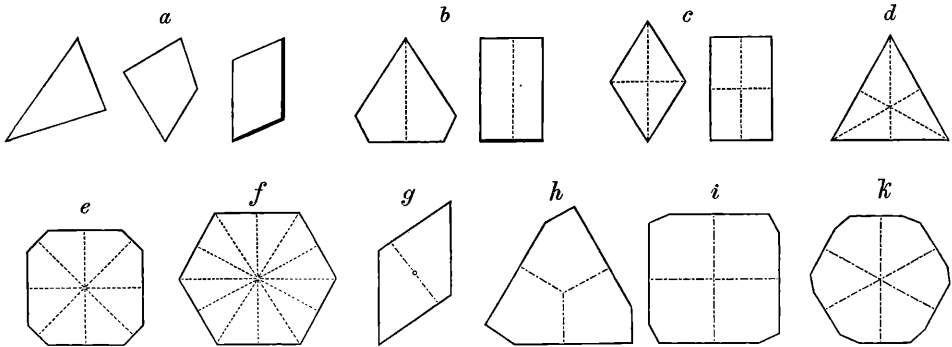
1. Viele Flächen sind asymmetrisch, da sie ungleichseitige Dreiecke, unregelmäßige Vier- oder Vielecke oder auch Rhomboide und Rechtecke darstellen, deren Seiten ungleichartig sind, weil sie ungleichen Kanten angehören. Solche Flächen sind in Fig. 90 unter α verzeichnet. Trikline Krystalle zeigen durchwegs derlei Flächen.

2. An anderen Flächen ist eine Symmetrie zu beiden Seiten einer Geraden zu bemerken, zu welcher die Begrenzungen der Fläche beiderseits spiegelbildlich gleiche Lage besitzen. Flächen, die von einer einzigen Symmetrieebene senkrecht getroffen werden, zeigen diesen Grad der Symmetrie, sind monosymmetrisch, wie die beistehenden Figuren unter *b*. Ein Beispiel ist die Fläche *P* in Fig. 56 auf S. 39,

3. Manche Flächen sind disymmetrisch, weil sie eine Teilung durch zwei Symmetriegerade zulassen, wie die beistehenden Figuren unter *c*. Solche Flächen werden von zwei Symmetrieebenen senkrecht getroffen, wie die Fläche *k* in Fig. 58 auf S. 39 oder die Flächen *a* und *m* in Fig. 62 auf S. 40.

4. Trisymmetrische Flächen wie in Fig. *d* gestatten die Teilung durch drei Symmetriegerade. Eine Fläche, die von drei Symmetrieebenen senkrecht getroffen wird, ist trisymmetrisch, wie jede Fläche des Oktaeders, Fig. 81, des Tetraeders, Fig. 82, 83 auf S. 47.

Fig. 90.



5. Tetrasymmetrische Flächen wie in Fig. *e* finden sich an tetragonalen und tesserale Krystallen, wofür die großen Flächen in Fig. 66 auf S. 41 ein Beispiel sind.

6. Hexasymmetrische Flächen wie in Fig. *f* werden an holoedrisch-hexagonalen Krystallen beobachtet, wie an dem Krystall in Fig. 64 auf S. 40 die Endflächen *c*.

Andere Arten der Flächensymmetrie lassen sich so ermitteln, daß von dem Mittelpunkte der Fläche Strahlen senkrecht gegen die gleichen Seiten gerichtet werden.

a) Flächen, welche bei diesem Verfahren je zwei um 180° divergierende Strahlen liefern, werden als dimetrische bezeichnet. Sie stehen senkrecht auf einer zweizähligen Symmetrieaxe. Ein Rhomboid, dessen parallele Seiten gleichen Kanten angehören, ist von dieser Art. Siehe Fig. 90 *g*. An Krystallen der Symmetriestufe III sind solche Flächen häufig.

b) Flächen, welche je drei um 120° divergierende Strahlen ergeben, sind trimetrisch, wie Fig. 90 *h*. Sie kommen als Endflächen an trigonalen und in der

Lage der Oktaederflächen an tesserale Krystallen vor. Sie stehen senkrecht auf einer dreizähligen Symmetrieaxe.

c) Flächen, die je vier um 90° verschieden liegende Strahlen geben, wie in Fig. *i*, sind tetrametrisch. Als Endflächen tetragonaler Krystalle, auch an tesserale in der Lage von Würfelflächen. Senkrecht zu ihnen liegt eine vierzählige Symmetrieaxe.

d) Zuweilen werden Flächen gefunden, die je sechs um 60° divergierende Strahlen liefern: hexametrische Flächen, wie Fig. 90 *k*. Als Endflächen hexagonaler Krystalle. Sie liegen senkrecht zu einer sechszähligen Symmetrieaxe.

Aus dieser Aufzählung ist zu entnehmen, daß die Symmetrie der Flächen in den Fällen 2. bis 6. durch die Zahl der dazu senkrechten Symmetrieebenen bestimmt ist, in den Fällen *a* bis *d* von der Zähligkeit der dazu senkrechten Symmetrieaxe. Im übrigen folgt dieselbe aus der Lage des Poles der fraglichen Fläche in dem Schema der Symmetrie jener Krystallklasse, welcher der Krystall angehört, Seite 44. Wird jener Pol durch Zonenkreise mit den dort angegebenen benachbarten Flächenpolen verbunden gedacht, so ergibt sich ein Bild der Symmetrie jener Fläche, weil jeder gleichen Zone ein Strahl entspricht.

32. Krystallmolekel¹⁾. Die Gesetzmäßigkeit der Form und der Zusammenhang mit physikalischen Eigenschaften, wie er schon bei der Spaltbarkeit zutage tritt, weisen auf bestimmte Orientierungen im Innern des Krystalles hin, die sich jedoch der direkten Wahrnehmung entziehen. Es hat aber nicht an Versuchen gefehlt, mit Hilfe plausibler Annahmen ein Bild des inneren Gefüges zu liefern und daraus die Gesetzmäßigkeit der Form abzuleiten.

Hauy hat sogleich bei der Auffindung des Parametersgesetzes eine Hypothese aufgestellt, welche jenes Gesetz als eine Folge des regelmäßigen Baues erscheinen läßt. Nach dieser bestehen die Krystalle aus geformten, untereinander gleichen Partikelchen, die sich wie Ziegel eines Mauerwerkes regelmäßig zusammenfügen. Denkt man sich die Krystalle in der angegebenen Weise aus vielen ungleichmäßig kleinen, gleichen Körperchen schichtartig gebaut, so leitet sich daraus die Erscheinung ab, daß die Krystalle mit ebenen Flächen und bestimmten Winkeln entstehen und daß die Lage der Flächen durchwegs dem Parametersgesetze folgt.

Ein einfaches Beispiel gibt der Bleiglanz. Dieses Mineral krystallisiert häufig in Würfeln. Nach dem erwähnten Gesetze sind aber auch Oktaeder und Rhombendodekaeder möglich und in der Tat kommen die Flächen dieser Formen an manchen Bleiglanzkrystallen vor. Da nun der Bleiglanz nach den Würfelflächen spaltbar ist, folglich jeder Bleiglanzwürfel in ungleichmäßig viele würfelförmige Partikel zerteilt werden kann, so nahm Hauy an, daß alle Bleiglanzkrystalle aus unge-

¹⁾ Molecula, kleine Masse, Massenteilchen. Der Autor stimmt mit L. Meyer überein, welcher vorzieht, das Wort aus der Ursprache zu nehmen und Molekel zu schreiben, anstatt, wie es öfter geschieht, das französisierte Wort Molekül zu gebrauchen. (L. Meyer, Die modernen Theorien der Chemie.)

mein kleinen Würfeln aufgebaut seien, also die Formen des Würfels, des Oktaeders und Rhombendodekaeders in der Weise, wie in den Fig. 91, 92, 93.

Da die würfelförmigen Partikelchen von einer unangebbbar geringen Größe sind, so werden die Flächen, welche in dieser Zeichnung rauh oder treppenartig dargestellt sind, in der Tat doch glatt und eben erscheinen.

Wenn man in dem vorliegenden Falle annimmt, daß zuerst aus den gleichen Partikelchen ein Würfel, wie in Fig. 91, gebildet wird, und daß sich an denselben fernere solche Partikelchen anlegen, um das Rhombendodekaeder, Fig. 93,

Fig. 91.

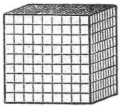


Fig. 92.

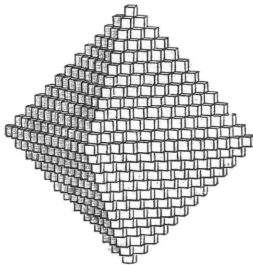
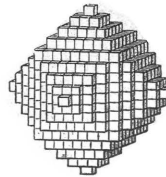


Fig. 93.



zu bilden, so ist leicht zu erkennen, daß beim Wachsen des Krystals sich zunächst auf jeder

Würfelfläche eine Schichte absetzen muß, welche an allen vier Seiten der Fläche um ein Partikelchen weniger enthält als diese. Die nächste Schichte enthält wieder jederseits ein

Partikelchen weniger als die vorige u. s. f., wonach sich auf der früheren Würfelfläche von den Kanten her eine vierflächige Pyramide aufbaut, deren Höhe halb so groß ist als die Höhe des früher gedachten Würfels.

Die Abnahme der Schichten in Breite und Länge, die bei der Bildung jener Formen Platz greift, welche andere Flächen als die Grundform haben, nannte Hauy die Dekreszenz. Bei der Bildung des Oktaeders erfolgt die Dekreszenz an den Ecken, indem jede Schicht daselbst um eine Reihe von Partikelchen weniger ansetzt als die vorige. Die Dekreszenz kann sowohl an den Kanten als den Ecken eine, zwei, drei, vier etc. Reihen von Partikelchen betragen oder abwechselnd zwei und drei, zwei und fünf u. s. w. Diese Zahlen sind gerade so wie die Koeffizienten m , n , p immer rationale Zahlen [16].

Damit sollte eine Erklärung der Konstanz der Flächenwinkel und des Parametergesetzes gegeben sein, doch sind beide Gesetze schon in der Annahme gleicher Partikel von bestimmter Form und in der Annahme der gleichförmigen Anordnung enthalten. Die meist symmetrische Form wurde den Partikeln von vornherein zugeschrieben.

Die Vorstellung von der Bildung der Krystalle aus geformten Partikeln, welche sich ohne Zwischenraum berühren und den Krystall wie ein Mauerwerk erscheinen lassen, wurde wiederum aufgegeben, als es sich zeigte, daß sie nicht konsequent durchführbar sei und daß sie mit anderen Erscheinungen sich nicht gut vereinigen lasse. Die Lehren der Physik erfordern für jedes Körperteilchen einen Raum, in welchem es jene Schwingungen ausführt, die uns als Licht, Wärme u. s. w. erscheinen, das Verschlucken von Gasen durch Krystalle setzt gleichfalls Zwischenräume voraus, die Erscheinungen der Elastizität gleichfalls

u. s. f. Demnach ist es notwendig, die Krystallteilchen ohne gegenseitige Berührung zu denken.

Demgemäß betrachtete man jeden Krystall zusammengefügt aus Körperchen, welche einander nicht berühren, sondern frei schweben, welche aber im übrigen so angeordnet sind, wie die vorhin gedachten geformten Partikelchen. Die schwebenden Körperchen sind demnach so gegeneinandergestellt, daß in derselben Richtung im Krystall jedes Körperchen von dem folgenden so weit entfernt ist, wie dieses von dem dritten, wie das dritte von dem vierten u. s. f. Solche Körperchen werden Krystallmolekeln genannt.

Den Krystallmolekeln wurde keine bestimmte Gestalt zugeschrieben, denn ihre Form hatte jetzt keine Bedeutung. Wenn sie daher in der Zeichnung als Kügelchen oder Punkte dargestellt wurden, so sollte dies nur dazu dienen, den Ort jeder Molekel anzugeben, ohne aber die Beschaffenheit derselben auszudrücken.

Die Vorstellung von dem Aufbau der Krystalle aus Molekeln ist namentlich von Bravais und von Frankenheim ausgebildet worden, welche beide die Gesetzmäßigkeiten, welche daraus folgen, in ein System gebracht haben.

Um von der früheren Hauch-
schen Vorstellung auf die spätere
überzugehen, denkt man sich in den
Mittelpunkt jeder geformten Partikel
eine Molekel und läßt alle Begrenzungen
der Partikel weg. Man hat sodann
einen regelmäßigen Bau, der aus
schwebenden Molekeln besteht. Jede
derselben hat die Eigenschaft, be-
nachbarte Teilchen anzuziehen und
in bestimmten Richtungen und be-

Fig. 94.

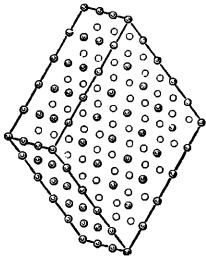
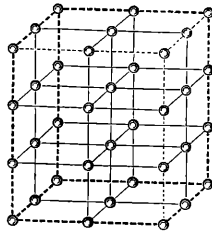


Fig. 95.



stimmten Entfernungen zu erhalten. Diese Entfernungen müssen sich auf derselben Linie von Molekel zu Molekel wiederholen. Ein Beispiel wäre Fig. 94, welche ein Bild von der Anordnung der Molekeln in einem sehr kleinen Barytkrystall geben soll.

An einem solchen Bau erscheinen die vorhandenen Krystallflächen als Ebenen, welche eine ganze Schar von Molekeln berühren, sie erscheinen als Tangentialebenen eines regelmäßig angeordneten Systems von Molekeln. Die Spaltebenen und alle möglichen Krystallflächen sind Ebenen, welche durch eine größere Anzahl von Molekeln gelegt gedacht werden können; sie sind Molekularebenen. Die Geraden, welche durch mehrere Molekeln hindurch gelegt werden können, heißen Molekularlinien. Die Kanten des Krystalles sind ersichtlicherweise Molekularlinien und demzufolge auch die Axen.

Die Molekeln, welche in einer Ebene liegen, bilden eine netzförmige Vereinigung, ein Flächengitter. Jede Schicht des Krystalles, welche so dünn gedacht wird, daß in der Dicke nur eine einzige Molekel vorhanden ist, stellt also ein Molekulargitter vor. Der ganze Bau kann als ein Raumgitter bezeichnet werden, welches aus ungemein vielen Molekeln besteht, Fig. 95. Die Fäden des Netzes

sind nichts Körperliches, sondern sind die Verbindungslinien der Schwerpunkte zunächstliegender Molekeln, die Knoten des Netzes aber sind körperlich, sind die Molekeln. Man kann durch ein Molekularnetz viele Ebenen legen, deren jede mindestens durch drei Molekeln hindurchgeht. Jede solche Ebene ist eine mögliche Fläche des Krystalls. Unter diesen werden sich die Spaltungsebenen dadurch auszeichnen, daß in ihnen die Molekeln am dichtesten gedrängt erscheinen. In Fig. 94 sowie in Fig. 95 werden es die Ebenen sein, welche der äußeren Begrenzung parallel sind. Man erkennt daraus, daß die Spaltungsebenen häufig den Endflächen und Prismenflächen parallel sein werden.

Werden auf der Molekularlinie, welche gegen den Beschauer zuläuft, die gleichen Distanzen zwischen jeder Molekel und der folgenden mit a bezeichnet, ferner die gleichen Distanzen auf der querliegenden Molekularlinie mit b und die gleichen Distanzen an der aufrechten Linie mit c , so wären dies drei Längen, welche, auch in Millimetern ausgedrückt, von einer Kleinheit wären, die man sich nicht vorzustellen vermag. Das Verhältnis aber, in welchem diese drei Größen zueinander stehen, kann durch Zahlen ausgedrückt werden und diese mögen mit a, b, c bezeichnet werden, so daß

$$a : b : c = a : b : c.$$

Ist nun die Lage der drei genannten Molekularlinien bekannt, so läßt sich die Lage jeder Fläche an dem Krystall durch den Ausdruck $ma : nb : pc$ darstellen, in welchem m, n, p ganze Zahlen sind, und so läßt sich das Parametergesetz aus der bestimmten Anordnung der Molekeln ableiten.

Auch die Tatsache des Auftretens verschiedener Arten der Symmetrie suchten Bravais und Frankenheim durch diese Anordnung zu erklären. In der Tat, wenn man alle möglichen Arten von Raumgittern aufsucht, so ergibt sich, daß sich 14 voneinander wesentlich verschiedene Arten auffinden lassen, von denen 1 dem triklinen, 2 dem monoklinen, 4 dem rhombischen, 1 dem trigonalen, 2 dem tetragonalen, 1 dem hexagonalen, 3 dem tesserale System entsprechen. Um jedoch der Symmetrie der verschiedenen Symmetrieklassen innerhalb der Krystallsysteme zu genügen, muß die Annahme gemacht werden, daß die Krystallmolekel selbst jenen Grad der Symmetrie besitze, der der Krystallklasse zukommt.

Die Theorie der Raumgitter vermag also eine anschauliche Vorstellung zu vermitteln über die Ursache des Parametergesetzes und der Spaltbarkeit; die Ursache der Symmetrie der Krystalle muß aber in den hypothetischen Krystallmolekeln selbst gesucht werden.

In den Raumgittern hat man sich die Krystallbausteine, die Krystallmolekel, so wie in der Hauyschen Vorstellung sämtlich kongruent und parallelgestellt zu denken.

Sohneke ersann Anordnungen kongruenter Krystallmolekel, die nicht alle parallelgestellt sind, wohl aber der Bedingung entsprechen, daß die Anordnung aller übrigen Krystallmolekel um jede einzelne dieselbe sei. Denkt man sich von einer Krystallmolekel nach allen Nachbarmolekeln Linien gezogen, so läßt sich dieses starr gedachte Büschel von Linien auf jeder Krystallmolekel so anbringen, daß die Linien des Büschels wieder auf sämtliche Nachbarmolekel zielen und sie in gleichen Entfernungen treffen würden. Eine solche Anordnung nennt Sohneke ein regelmäßiges Punktsystem. Viele regelmäßige Punktsysteme lassen sich so gewinnen, daß man an Stelle eines Raumgitterpunktes eine Gruppe von kongruenten Krystallmolekeln treten läßt, die um den Raum-

gitterpunkt regelmäßig, aber in nicht parallelen Stellungen angeordnet sind. Auf diese Art gelang es Sohncke, neben dem Parametergesetz und der Spaltbarkeit auch die Symmetrie einer größeren Anzahl von Krystallklassen durch die Symmetrie der Anordnung darzustellen. Aber um der Symmetrie der höher symmetrischen Stufen (II IV V) der Krystallsysteme gerecht zu werden, mußten doch auch den Krystallmolekeln selbst Symmetrieebenen, in manchen Fällen ein Symmetriezentrum zugeschrieben werden, und die Symmetrie mancher Klassen (z. B. tetragonal Stufe Ia) ließ sich so überhaupt nicht darstellen.

Eine Erweiterung der Sohnckeschen Vorstellung durch Fedorow und Schoenflies ging dahin, anzunehmen, daß neben den Krystallmolekeln der Sohnckeschen regelmäßigen Punktsysteme in manchen Fällen spiegelbildlich gleiche in gleicher Anzahl auftreten, worauf die Symmetrie sämtlicher 32 Klassen durch die Anordnung der Krystallbausteine dargestellt werden kann, während den Krystallmolekeln selbst gar keine Symmetrie, aber doch die Tendenz zur Anordnung nach gewissen Winkeln und Abständen zugeschrieben wird.

Allen diesen Versuchen, sich über die möglichen Anordnungen der Krystallmolekel Rechenschaft zu geben, liegt die Vorstellung der Raumgitter zu Grunde, und auch die erweiterten regelmäßigen Punktsysteme lassen sich als ineinandergestellte Raumgitter von teils kongruenten, teils spiegelbildlich gleichen Krystallmolekeln auffassen.

Noch einen Schritt weiter ging Sohncke, indem er die Hypothese aufstellte, daß auch ungleiche Krystallmolekel sich zu regelmäßig angeordneten Systemen nach bestimmten Zahlenverhältnissen vereinigen können.

Welche Annahme über den Bau der Krystalle man immer aufstellen mag, so bleiben doch für die Krystallsysteme bestimmte Merkmale erhalten:

In einem tesserale Krystall ist diese Anordnung eine reguläre. Denkt man sich im Innern eines solchen Krystalles um irgend eine Molekel eine Kugelfläche, welche eine andere Molekel schneidet, so trifft diese Fläche zugleich eine ganze Anzahl von Molekeln, die auf der gedachten Kugelfläche gleichförmig verteilt erscheinen. In einem trigonalen, tetragonalen oder hexagonalen Krystall ist nur die Anordnung parallel der Hauptebene eine reguläre. Legt man innerhalb dieser Ebene um irgend eine Molekel einen Kreis, der eine andere Molekel schneidet, so trifft dieser Kreis zugleich mehrere Molekeln, die sich nach einem Vielfachen von 3, 4 oder 6 in gleichen Zwischenräumen wiederholen. Wie die Flächen dieser Krystalle, so sind auch die Molekeln um die Hauptaxe im Wirtel angeordnet.

In den rhombischen, monoklinen, triklinen Krystallen zeigt sich in keiner Ebene eine reguläre Anordnung.

Auch von der Molekularhypothese gilt der Satz, daß die Gesetzmäßigkeiten der Form, welche dadurch erklärt werden sollen, schon in den Annahmen liegen, doch ist dieselbe zur Ableitung mancher physikalischer Eigenschaften der Krystalle geeignet.

Außer den Schriften von Bravais (*Études cristallographiques*. Paris 1866) und Frankenheim (*Pogg. Ann.* Bd. 79, pag. 337) handeln über die angedeutete Theorie: Sohncke, *Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur*, Leipzig, 1879; ferner in *Wiedemanns Ann. der Phys.*, Bd. 16, p. 489, und *Zeitschr. für Kryst.*, Bd. 13, p. 214; Bd. 14, p. 426; Wulff, ebenda, Bd. 13, p. 503; Blasius, *Sitzungsber. d. bayer. Akad.*, 1889, p. 40; Fedorow, *Zeitschr. f. Kryst.*, Bd. 23, p. 99; Bd. 25, p. 113, p. 209; Schoenflies, *Krystallsysteme und Krystallstruktur*, Leipzig, 1891.

33. Triklines System. Die hierhergehörigen Formen ergeben durchwegs ungleiche Zonen und sind sonach unsymmetrische. Die Flächen sind unsymmetrisch, sie sind entweder alle ungleich oder jeder Fläche ist nur die dazu parallele, die

Gegenfläche gleich. Unter den Kanten können beliebige drei, die miteinander ein Eck bilden, für die Axenrichtungen ausgewählt werden, daher verschiedene Autoren bisweilen eine verschiedene Auswahl treffen und die Aufstellung der Krystalle eines triklinen Minerals nicht in allen Werken dieselbe ist. Das Axenverhältnis $a : b : c$ wird gewöhnlich so angegeben, daß $b = 1$ gesetzt wird.

Stufe II. Triklin-holoëdrische Klasse (Pinakoidale Klasse, Groth).

Die Formen dieser Stufe werden holoëdrische genannt, während sonst nur jene der Stufe V als holoëdrische bezeichnet werden.

Die Krystalle dieser Abteilung sind von Flächenpaaren begrenzt, die voneinander verschieden erscheinen. Mit jeder Fläche ist die Gegenfläche spiegelbildlich gleich. Die einfache Form ist ein Flächenpaar (Pinakoid).

Werden an einem solchen Krystall drei vorhandene oder mögliche Flächenpaare ausgewählt, welche die Axen liefern, so ergeben sich drei ungleiche, zu-

Fig. 96.

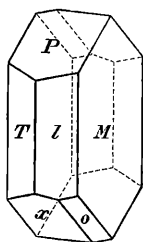


Fig. 97.

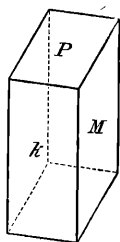


Fig. 98.

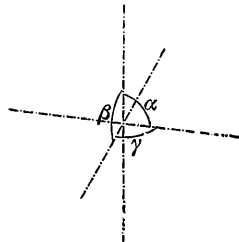
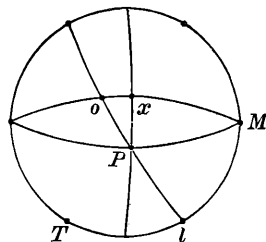


Fig. 99.



einander schief liegende Axen. Der Winkel zwischen der aufrechten und der Queraxe wird mit α , jener zwischen der aufrechten und der Längsaxe mit β , endlich jener zwischen der Quer- und der Längsaxe mit γ bezeichnet.

An dem Albitkrystall, Fig. 96, pflegt man die Flächen P , M und k als Endflächen anzunehmen, welche die Axen liefern. k ist eine mögliche Fläche, die in den Zonen lM und Px liegt. Werden diese drei Flächen für sich gedacht, so ergeben sie die Kombination in Fig. 97 und die Kanten derselben liefern die in Fig. 98 verzeichneten Axenrichtungen.

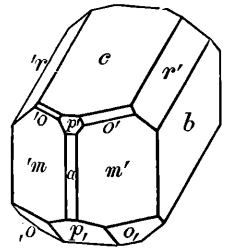
Man kann zu denselben auf kürzerem Wege gelangen, wenn man in Fig. 96 die Kante $P : x$ als Queraxe, die Kante $P : M$ als Längsaxe und die Kante $l : M$ als aufrechte Axe annimmt. Diese drei Axen denkt man parallel in das Innere des Krystalls versetzt und erhält sodann durch Vergrößerung jeder Krystallfläche deren Parameter. Naumann stellt die Krystalle so auf, daß für die Queraxe der längere Parameter gilt, also $b > a$ wird.

Die einfachen Formen bedürfen außer der allgemeinen Nomenklatur [17] keiner besonderen Namen, da die Bezeichnung durch die Indizes genügt. Naumann hat jedoch eine komplizierte Nomenklatur angegeben, indem er, dem historischen Entwicklungsgange der Krystallographie entsprechend, bei den Krystallen der geringeren Symmetriegrade die rhombischen als den Typus hinstellte

und die monoklinen und die triklinen Formen so benannte, als ob sie eine Hemiedrie und eine Tetartoedrie der rhombischen Formen darstellten.

Demgemäß nannte er die Flächenpaare, welche als Pyramidenflächen erscheinen, Viertelpyramiden und machte ihre Lage dadurch erkenntlich, daß er in seinem Symbol dem Buchstaben P Striche anhing. Dabei wurden solche Pyramidenflächen, welche einer nach der *a*-Axe gestreckten Pyramide entsprechen, Brachypyramiden genannt und ihre Symbole durch ein Kürzezeichen $\bar{}$ kenntlich gemacht, welches andeutet, daß der hinter P stehende Koeffizient sich auf die *a*-Axe bezieht. Jene Pyramidenflächen hingegen, welche einer zur *b*-Axe gestreckten Pyramide entsprechen, wurden Makropyramiden genannt und ihr Symbol wurde entsprechend mit einem Längezeichen ∞ versehen. Die Flächenpaare, welche zu den Prismenflächen gehören, wurden Hemiprismen und Hemidomen genannt und in ihren Symbolen wurde durch $\bar{}$ oder ∞ angedeutet, daß der Koeffizient ∞ nach dem P sich auf die *a*-Axe, respektive auf die *b*-Axe beziehe. Das entsprechende Verfahren wurde bei den Endflächen beobachtet.

Fig. 100.



Die folgenden Beispiele sind geeignet, die Bezeichnungsweise der einfachen Formen nach Weiß, Miller und Naumann zu erläutern. Fig. 100 stellt eine dem Anorthit entsprechende Kombination dar. Nummern der einfachen Formen wie [30] Fig. 85.

1. Endflächenpaar	$c = (\infty a : \infty b : c) = (001) = 0 P$
2. Längsflächenpaar	$b = (\infty a : b : \infty c) = (010) = \infty P \infty$
3. Querflächenpaar	$a = (a : \infty b : \infty c) = (100) = \infty P \bar{\infty}$
4. Längsprismenpaar	$r' = (\infty a : b : 2c) = (021) = 2, P' \infty$
" "	$'r = (\infty a : b' : 2c) = (0\bar{2}1) = 2' P', \infty$
5. Querprismenpaar	$p' = (a : \infty b : 2c) = (201) = 2' P' \bar{\infty}$
" "	$p, = (a : \infty b : c') = (10\bar{1}) = , P, \bar{\infty}$
6. Aufrechtes Prismenpaar	$m' = ((a : b : \infty c) = (110) = \infty P'$
" "	$'m = (a : b' : \infty c) = (1\bar{1}0) = \infty 'P'$
7. Pyramidenpaar	$o' = (a : b : c) = (111) = P'$
" "	$'o = (a : b' : c) = (1\bar{1}1) = 'P'$
" "	$o, = (a : b : c') = (11\bar{1}) = P,$
" "	$,o = (a : b' : c') = (1\bar{1}\bar{1}) = ,P$
" "	$v = (2a : b : 4c') = (24\bar{1}) = 4 P, \bar{2}$
" "	$s = (3a : 6b' : 4c') = (4\bar{2}3) = \frac{4}{3}, P \bar{2}$

Die Flächen *v* und *s* treten auch bisweilen am Anorthit auf.

An dem Albitkrystall in Fig. 96 nimmt man, wie es vorhin geschehen, *P* und *M*, nach welchen der Kristall spaltbar ist, als Endflächen an, und zwar $P = 001$, $M = 010$. Setzt man ferner $x = 10\bar{1}$, $T = 1\bar{1}0$, $l = 110$, so ergeben sich aus den Zonen Mx und Pl die Indizes für $o = 11\bar{1}$. Die Projektion ist in Fig. 99 gegeben.

Werden an dem Axinitkrystall, Fig. 101, die Flächen $p = 1\bar{1}0$, $u = 110$, $r = 1\bar{1}1$ und $x = 111$ angenommen, so ergeben sich aus den Zonen px und ru die Indizes für $s = 201$ und aus der Zone pu für $a = hk0$. Die Winkel führen auf $a = 100$.

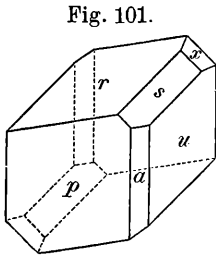


Fig. 101.

Stufe I. Asymmetrische Klasse (Pediale Klasse, Groth).

Die Krystalle dieser Abteilung zeigen durchwegs ungleiche Zonen und ungleiche Flächen. Die einfache Form besteht bloß aus einer einzigen Fläche. Bisher wurden bloß unter den Produkten der Laboratorien hiehergehörige Krystalle beobachtet.

34. Monoklines System. Die Formen dieses Systemes sind durch eine Medianzone ausgezeichnet, zu der die übrigen Zonen entweder senkrecht oder paarweise gleich geneigt sind. Die Axe der Medianzone gibt die Richtung der Queraxe an. Diese ist senkrecht zu den beiden anderen Axen, deren stumpfer Winkel mit β bezeichnet wird. In dem Verhältnis der drei ungleichen Axen $a : b : c$ wird $b = 1$ gesetzt. Die Aufstellung der Krystalle differiert bisweilen, insbesondere durch eine verschiedene Wahl der ersten Axe.

Stufe V. Monoklin-holoedrische Klasse. (Prismatische Klasse, Groth.)

Die Krystallformen weisen eine Symmetrieebene auf, die in der Ebene der Medianzone liegt und die Form in zwei spiegelbildlich gleiche Teile zerlegt. Dieselbe ist der Längsfläche parallel. Die Queraxe, welche auf der Symmetrieebene senkrecht steht, ist zweizählige Symmetrieaxe; es ist ein Symmetriezentrum vorhanden.

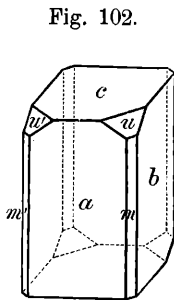


Fig. 102.

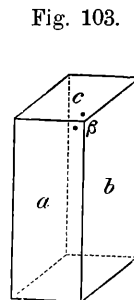


Fig. 103.

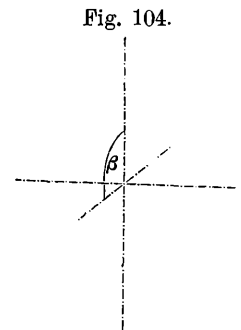


Fig. 104.

In dem Augitkrystall, Fig. 102, ist die Symmetrieebene parallel b in den Krystall versetzt zu denken. Die Medianzone ist die Zone ac . Werden die Flächenpaare a und c als Quer- und Endflächenpaar angenommen, so liefert die Kombination der drei Paare in Fig. 103 die drei Axenrichtungen. Die ebenen Winkel, welche durch hineingesetzte Punkte bezeichnet sind, müssen rechte sein, weil die zwischenliegende Kante, welche die Queraxe angibt, zur Symmetrieebene senkrecht ist. Dagegen bleibt der Winkel β zwischen der aufrechten und der Längsaxe ein schiefer, Fig. 104.

Die einfachen Formen sind zwei- oder vierflächig. Zweiflächig alle jene, deren Pole in der Symmetrieebene liegen und die entsprechenden Flächen sind

monosymmetrische, zweiflächig ist das Paar der Längsflächen, welche dimetrisch sind (wie aus Fig. 53 V auf S. 36 ersichtlich), alle übrigen einfachen Formen sind vierflächige Prismen von rhombischem Querschnitt und von deren vier asymmetrischen Flächen sind je zwei an der Symmetrieaxe anliegende deckbar, gleich, je zwei sich an der Symmetrieebene berührende spiegelbildlich gleich.

Denkt man sich in dem Schema monoklin V auf S. 44 die dort angegebenen Flächenpole beweglich, so werden bei Verschiebung derselben, unter Wahrung des herrschenden Symmetriegesetzes, die vorderen beiden Pole zusammenfallen, wenn sie in die Symmetrieebene gelangen, ebenso die beiden rückwärts liegenden und es entsteht ein Flächenpaar (Querflächen, Endflächen, Querprismaflächen). Geschieht die Verschiebung in der entgegengesetzten Weise, so wird auf jeder Seite der Symmetrieebene ein vorne liegender und ein rückwärts liegender Pol zusammenfallen und es entsteht das Längsflächenpaar.

Naumann bezeichnet die Queraxe als Orthodiagonale, die Längsaxe als Klinodiagonale; nach ihm werden die vierflächigen Komplexe, welche aus Pyramidenflächen bestehen, Hemipyramiden genannt, und zwar heißen die vier Flächen, welche im stumpfen Winkel der schiefen Axen liegen, z. B. $(a : b : c) = (111)$ die negative, die Flächen $(a : b : c') = (11\bar{1})$ die positive Hemipyramide. An dem Gypskrystall, Fig. 105, ist demnach u eine positive, o eine negative Hemipyramide. Das Längsprisma wird Klinodoma genannt, während die Querprismaflächen als Orthodoma bezeichnet und als negatives Hemidoma z. B. (101) und als positives Hemidoma z. B. $(10\bar{2})$ unterschieden werden. An dem Orthoklaskrystall, Fig. 106, sind demnach x und y positive Hemidomen. Das Querflächenpaar heißt Orthopinakoid, das Längsflächenpaar Klinopinakoid, das Endflächenpaar basisches Pinakoid. Außerdem werden die nach der Queraxe gestreckten Pyramiden als Orthopyramiden von denen unterschieden, die nach der geneigten Axe gestreckt sind und Klinopyramiden heißen. Bei der Bezeichnung wird, falls die Zahl hinter dem P sich auf die Queraxe bezieht, durch das P ein horizontaler Strich gezogen, falls sie sich auf die Längsaxe bezieht, ein geneigter Strich.

Die Bezeichnung der einfachen Formen wird durch die folgenden Beispiele erläutert: Nummern wie [30] Fig. 86.

1. Endflächenpaar	$(\infty a : \infty b : c) = (001) = 0P$
2. Längsflächenpaar	$(\infty a : b : \infty c) = (010) = \infty P \infty$
3. Querflächenpaar	$(a : \infty b : \infty c) = (100) = \infty P \infty$
4. Längsprisma	$(\infty a : b : c) = (011) = P \infty$
" "	$(\infty a : b : 2c) = (021) = 2P \infty$
5. Querprismenpaar	$(a : \infty b : c) = (101) = -P \infty$
" "	$(a : \infty b : c') = (10\bar{1}) = P \infty$
6. Aufrechtes Prisma	$(a : b : \infty c) = (110) = \infty P$
" "	$(3a : b : \infty c) = (130) = \infty P 3$
7. Geneigte Prismen (Pyramiden)	$(a : b : c) = (111) = -P$
" "	$(a : b : c') = (11\bar{1}) = P$
" "	$(a : b : 3c') = (3\bar{3}\bar{1}) = 3P$
" "	$(a : 2b : c) = (212) = -P 2$
" "	$(2a : b : c') = (12\bar{2}) = P 2$

An dem Augitkrystall in Fig. 102 ist $a = (100)$, $b = (010)$, $c = (001)$, $u = (111)$, $m = (110)$.

An dem Gypskrystall in Fig. 105 ist $m = (110)$, $b = (010)$, $o = (111)$, $u = (1\bar{1}\bar{1})$.

An dem Orthoklaskrystall, Fig. 106, ist M parallel der Symmetrieebene, P , x , y sind senkrecht zu derselben, davon wird P als Endfläche angenommen, da

zu dieser parallel eine vollkommene Spaltbarkeit beobachtet wird und l pflegt man als aufrechtes Prisma, o als primäre Pyramidenfläche zu nehmen. Demnach sind $M = (010)$, $l = (110)$, $P = 001$, $o = (1\bar{1}\bar{1})$. Aus den Zonen Px und Mo erhält man $x = (10\bar{1})$, ferner aus den am Goniometer erkennbaren Zonen $1\bar{1}\bar{1}$, y , $1\bar{1}0$ und $1\bar{1}\bar{1}$, y , 110 für $y = (20\bar{1})$ und aus den Zonen PM und yl für $n = (021)$. S. d. Projektion in Fig. 107.

Fig. 105.

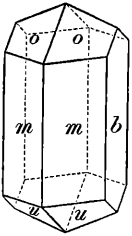


Fig. 106.

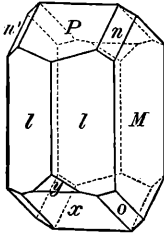
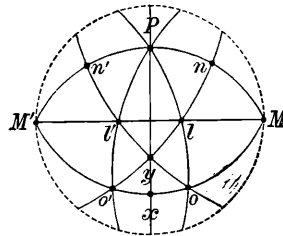


Fig. 107.



erhält man $x = (10\bar{1})$, ferner aus den am Goniometer erkennbaren Zonen $1\bar{1}\bar{1}$, y , $1\bar{1}0$ und $1\bar{1}\bar{1}$, y , 110 für $y = (20\bar{1})$ und aus den Zonen PM und yl für $n = (021)$. S. d. Projektion in Fig. 107.

Stufe IV. Monoklin-hemiedrische Klasse. (Domatische Klasse, Groth.)

Die Formen weisen eine Symmetrieebene auf, jedoch sind die vorderen, zu derselben geneigten und senkrechten Flächen von den rückwärts liegenden verschieden. Endfläche, Querfläche und Querprismenflächen treten als monosymmetrische Einzelflächen auf; das Längsflächenpaar besteht aus zwei spiegelbildlich gleichen asymmetrischen Flächen. Die übrigen drei einfachen Formen bestehen aus je zwei zur Symmetrieebene geneigten spiegelbildlich gleichen Flächen. Eine solche Form wird nach Groth Doma genannt. Daher aufrechtes Doma, Längsdoma, Pyramidendoma. Ihre Flächen sind asymmetrisch. Am Skolecit beobachtete Rinne hiehergehörige Formen, ähnlich wie m , b , o der Fig. 105.

Stufe III. Monoklin-hemimorphe Klasse. (Sphenoidische Klasse, Groth.)

Keine Symmetrieebene. Die Queraxe ist zweizählige Symmetrieaxe. Die Längsflächen sind ungleich, die übrigen Flächen zu zweien deckbar gleich, asymmetrisch, und hemitrop gegen den Pol b angeordnet. Liegen sie parallel zur Symmetrieaxe, so entstehen Flächenpaare: Querflächenpaar, Endflächenpaar, Querprismenpaar. Zwei gegen die Symmetrieaxe geneigte Flächen bilden ein Sphenoid; daher: Aufrechtes Sphenoid, Längssphenoid, Pyramidensphenoid. Ein Beispiel bieten die Formen des Rohrzuckers; an Mineralen sind bisher keine hiehergehörigen Krystalle beobachtet.

35. Rhombisches System. Diesen Krystallen kommen drei ungleiche, zueinander senkrechte Zonen zu. Die Durchschnitte der entsprechenden drei Zonenebenen werden als Axenrichtungen angenommen. Die drei ungleichen Axen sind demnach

zueinander senkrecht. $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Für die Aufstellung der Krystalle bietet sich keine Norm dar, daher verschiedene Autoren diese oder jene Axe als aufrechte, als Queraxe oder Längsaxe betrachten.

Stufe V. Rhombisch-holoedrische Klasse. (Bipyramidale Klasse, Groth.)

Die Formen werden von drei Symmetrieebenen beherrscht, welche den drei Ebenen der fixen Zonen entsprechen. Dieselben sind der Quer-, Längs- und Endfläche parallel. Fig. 108 gibt eine Kombination dieser drei Flächenpaare an, Fig. 109 die entsprechenden drei Axen, welche zweizählige Symmetrieebenen darstellen. Ihr Durchschnittspunkt entspricht dem Symmetriezentrum.

Fig. 108.

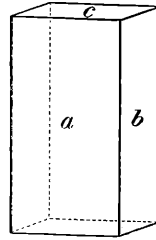


Fig. 109.

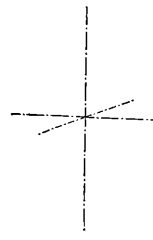
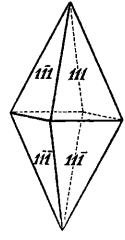


Fig. 110.



Die einfachen Formen sind zwei-, vier- oder achtfächig. Zweifächig die drei Endflächenpaare, denen ein disymmetrischer Charakter zukommt; vierfächig die drei Prismen, deren

Flächen die Kanten der Form in Fig. 108 abstumpfen und monosymmetrisch sind; achtfächig die rhombischen Doppelpyramiden, deren Flächen die Ecken jener Form abstumpfen und asymmetrisch sind. In der rhombischen Doppelpyramide tritt zum ersten Male eine geschlossene Form auf, Fig. 110. Die Kanten, welche in derselben Symmetrieebene liegen, sind einander gleich.

Werden in dem Schema rhombisch V auf Seite 44 die dort angegebenen acht Flächenpole beweglich und unter Beibehaltung der herrschenden Symmetrie verschoben gedacht, so werden immer je zwei derselben zugleich in eine Symmetrieebene fallen, demnach vier Punkte liefern und ein vierflächiges Prisma darstellen, oder es werden je vier in einem Punkte zusammenfallen, der ein Durchschnittspunkt zweier Symmetrieebenen ist, was einem Endflächenpaare entspricht.

Bei der Aufstellung der Formen verfährt Naumann in der Art, daß von den beiden horizontalen Axen die längere quer gestellt, also als Queraxe angenommen wird. Durch diese Aufstellung wird aber bisweilen die Analogie rhombischer und monokliner Formen, z. B. bei Enstatit und Diopsid aufgehoben, sie läßt sich also nicht allgemein anwenden. Naumann bezeichnet hierauf das Längsprisma als Brachydoma, das Querprisma als Makrodoma, die nach der Längsaxe gestreckten Pyramiden als Brachypyramiden, die nach der Queraxe gestreckten als Makropyramiden, die Längsflächen als Brachypinakoid, die Querflächen als Makropinakoid, die Endflächen als basisches Pinakoid. Bei der Bezeichnung werden die Anhängsel \smile und — so angewendet wie im triklinen Systeme.

Folgende Beispiele genügen zur Erläuterung der Bezeichnungsweise. Nummern der einfachen Formen wie [30] Fig. 87.

1. Endflächenpaar $(\infty a : \infty b : c) = \text{—}(001) = 0 P$
2. Längsflächenpaar $(\infty a : b : \infty c) = (010) = \infty P \smile$
3. Querflächenpaar $(a : \infty b : \infty c) = (100) = \infty P \text{—}$

4. Längsprisma	$(\infty a : b : c) = (011) = P \widetilde{\infty}$
„	$(\infty a : b : 2c) = (021) = 2 P \widetilde{\infty}$
5. Querprisma	$(a : \infty b : c) = (101) = P \overline{\infty}$
6. Aufrechtes Prisma	$(a : b : \infty c) = (110) = \infty P$
„	$(3a : b : \infty c) = (130) = \infty P \overline{3}$
7. Doppelpyramide	$(a : b : c) = (111) = P$
„	$(a : b : 2c) = (221) = 2 P$
„	$(2a : b : 2c) = (121) = 2 P \overline{2}$
„	$(2a : 6b : 3c) = (312) = \frac{2}{3} P \overline{3}$

An dem Schwefelkrystall, Fig. 111, wird P als primäre Doppelpyramide angenommen, wonach $P = (111)$, ferner n das zugehörige Längsprisma $n = (011)$ und $c = (001)$. Aus der Messung der Winkel Pc und sc ergibt sich $s = (11\bar{3})$, entsprechend einer stumpferen Doppelpyramide.

Fig. 111.

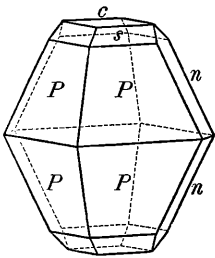


Fig. 112.

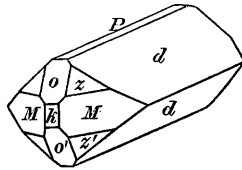


Fig. 113.

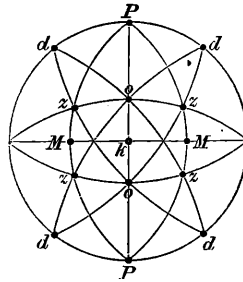
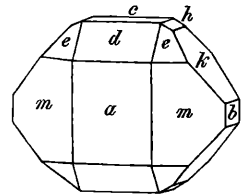


Fig. 114.



An dem Barytkrystall, Fig. 112, kann man M als primäres Prisma $M = (110)$ und o als primäres Querprisma $o = (101)$ annehmen, wonach $z = (111)$ und gemäß der Lage in den Zonen $d = (012)$, endlich $P = (001)$, $k = (100)$. S. d. Projektion in Fig. 113.

Der Olivinkrystall in Fig. 114 läßt die Endflächen erkennen, $a = (100)$, $b = (010)$, $c = (001)$. Wenn e als primäre Doppelpyramide genommen wird, $e = (111)$, so sind $m = (110)$, $d = (101)$, $h = (011)$ und aus den Zonen ergibt sich $k = (021)$.

Stufe IV. Rhombisch-hemimorphe Klasse. (Pyramidale Klasse, Groth.)

Die Formen folgen dem Gesetze zweier, zueinander senkrechter, ungleicher Symmetrieebenen. Deren Durchschnitt ergibt eine polare zweizählige Axe, an der Richtung und Gegenrichtung ungleich sind. Diese Axe pflegt man als aufrechte Axe anzunehmen.

Die einfachen Formen sind einflächig, zweiflächig oder vierflächig. Einflächig ist die disymmetrische Endfläche, die der Gegenfläche ungleich. Zweiflächig sind das monosymmetrische Quer- und Längsflächenpaar, ferner die dem Quer- und Längsprisma entsprechenden Flächen, die gleichfalls monosymmetrisch erscheinen und Quer- und Längsdoma heißen. Vierflächig ist das aufrechte Prisma und die Pyramide, beide mit asymmetrischen Flächen.

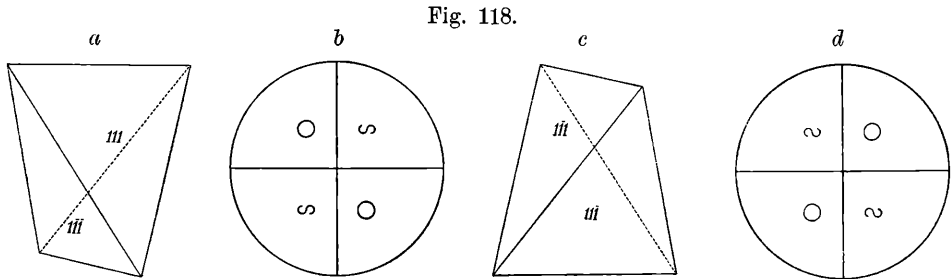
Wenn die vier Flächenpole in dem Schema rhombisch IV, auf S. 44, beweglich und entsprechend dem Gesetze zweier Symmetrieebenen verschoben gedacht werden, so treffen entweder alle vier in der Projektion der Endfläche zusammen oder es fallen je zwei in eine Symmetrieebene und führen auf die dem Quer- und Längsdoma entsprechenden Projektionen. Endlich können auch alle vier in den Grundkreis fallen, was dem aufrechten Prisma entspricht.

Die Bezeichnungweise ist ähnlich wie in der vorigen Stufe. An dem Calaminkrystall, Fig. 115, herrschen: das Längsflächenpaar $b = (010)$, das Prisma $g = (110)$, dazu kommen die zweiflächigen Querdomen $p = (301)$, $o = (101)$, die obere Endfläche $c = (001)$.

und am unteren Ende die vierflächige Pyramide $s = (12\bar{1})$. Der Calaminkrystall, Fig. 116, zeigt auch die Flächen b, g, p, s , außerdem das Längsdoma (031) und das Querflächenpaar (100) .

Der Struvitkrystall, Fig. 117, hat eine dachförmige Gestalt durch das Querdoma $r = (101)$ und schließt mit der unteren Endfläche $c = (00\bar{1})$ ab, dazu kommen das Längsflächenpaar $b = (010)$, das zweiflächige untere Querdoma $s = (10\bar{3})$ und die Längsdomen $p = (011)$ und $q = (041)$.

Stufe III. Rhombisch-hemiedrische Klasse. (Bisphenoidische Klasse, Groth.)



Die zugehörigen Formen haben keine Symmetrieebene und die acht Räume zwischen den drei fixen Zonen sind nur abwechselnd gleich; die drei Axen sind zweizählige Symmetrieachsen.

Die einfachen Formen sind zwei- oder vierflächig. Zweiflächig sind die drei dimetrischen Endflächenpaare, vielfächig alle übrigen Formen, deren Flächen asymmetrisch.

Werden die vier gleichen Pyramidenflächen für sich gedacht, so geben sie eine geschlossene Form, das rhombische Doppelsphenoid mit drei Paaren gleicher Kanten, indem die obere und die untere gleich, die vordere und die rückwärtige gleich, ebenso die seitlichen gleich sind, jedoch leiten sich von denselben Indizes h, k, l je zwei Doppelsphenoiden ab, die enantiomorph sind. Das eine gleicht dem Spiegelbilde des anderen, sie verhalten sich wie die rechte Hand zur linken. Fig. 118 gibt die Bilder zweier solcher Doppelsphenoiden und deren Projektionen auf 100.

Wenn in diesen Projektionen die vier Flächenpole beweglich und so verschoben gedacht werden, daß sie gegen die Endflächenpole gleiche Lage behalten, so können zwei gleichzeitig in die Lage 100 und die beiden anderen in die Lage $\bar{1}00$ gelangen. Dies führt auf das Querflächenpaar (100). Seine Flächen stehen senkrecht auf der zweizähligen Symmetrieaxe, woraus der dimetrische Charakter folgt [31]. Gleiches gilt für das Längs- und Endflächenpaar. Bei der gedachten Verschiebung können ferner alle vier Flächen getrennt in eine der drei fixen Zonen fallen, was auf die vierflächigen prismatischen Formen führt. Werden von dem Pol 101 nach 111 und $\bar{1}\bar{1}1$ Bogen gelegt, so zeigt sich, daß diese Bogen ungleich sind, woraus die Asymmetrie von 101 folgt, was für alle Flächen der prismatischen Formen gilt.

Fig. 119.

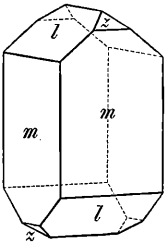
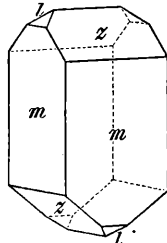


Fig. 120.



Die Bezeichnung ist dieselbe wie in der holoedrischen Stufe. Ein Beispiel geben die Krystalle des Bittersalzes, Fig. 119 und 120, an welchen $m = (110)$, $z = (111)$, $l = (\bar{1}\bar{1}1)$. Demnach treten hier oft beide Doppelsphenoide gleichzeitig auf.

36. Trigonales System. Der Formencharakter der trigonalen Krystalle beruht auf einem fixen Zonensystem, in welchem drei im Wirtel gestellte einfache Zonen,

die um je 120° voneinander abweichen, ferner auch drei im selben Wirtel eingeschaltete Zonen, die zu den vorigen senkrecht sind, auftreten, endlich eine Zone, die zu allen diesen senkrecht ist. Fig. 121 gibt eine Kombination an, welche drei vertikale Zonen arc und eine horizontale aa erkennen läßt. Die horizontalen Kanten geben drei gleiche Axen an, die vertikalen die Richtung der ungleichen aufrechten Axe oder Hauptaxe, die bei allen trigonalen Krystallen eine dreizählige Symmetrieaxe ist. Demnach erhält man im ganzen vier Axen. Obwohl nun auch hier die Annahme von drei Axen, der Hauptaxe und zweier horizontaler genügen würde, so benutzt man doch nach dem Vorgange von Bravais alle vier Axen, um der hier herrschenden Symmetrie gerecht zu werden. Das Axenverhältnis lautet $a : a : a : c$ und es wird gewöhnlich $a = 1$ gesetzt, wonach bloß das Verhältnis $a : c$, also eine einzige Zahl, durch Messung zu bestimmen ist. Für die Bezeichnung werden wiederum an den Axen positive und negative Äste unterschieden, so zwar, daß auf den positiven Ast der ersten Axe der negative Ast der dritten Axe, hierauf der positive Ast der zweiten, dann der negative der ersten u. s. w. folgt, Fig. 122.

Eine Fläche, die alle vier Axen schneidet, erhält nach Weiß die Bezeichnung $na : pa : a' : mc$, weil jede Fläche parallel verschoben gedacht wird, bis sie eine der horizontalen Axen in der Entfernung a trifft. Einer solchen Fläche wird nach Bravais das Symbol $hikl$ zukommen. Die Gleichstellung der beiden Bezeichnungsarten erfolgt nach Division der Indizes durch k , worauf beidemale an dritter Stelle der Faktor 1 eintritt und das letztere Symbol die Gestalt $\frac{h}{k}, \frac{i}{k}, \bar{1}, \frac{l}{k}$ annimmt.

Demgemäß ist $n = \frac{k}{h}$, $p = \frac{k}{i}$, $m = \frac{k}{l}$.

In dem Weißschen Symbol besteht zwischen dem ersten und dem zweiten Parameter eine Beziehung, so daß der eine sich aus dem anderen berechnen läßt. Ist in Fig. 123, welche einen horizontalen Schnitt bedeutet, der Abschnitt einer Fläche an der ersten Axe do , der an der zweiten Axe eo , beide positiv, so ist der Abschnitt an der dritten fo negativ. Da nun $do:fg = eo:eg$, worin $eg = eo - go$ und $fg = go = a$, so hat man $do:go = eo:(eo - go)$ oder $n.a : a = p.a : (p.a - a)$, woraus

$$p = \frac{n}{n - 1}$$

Wenn also die Weißsche Bezeichnung so gewählt wird, daß der dritte Parameter $= a$, so berechnet sich der zweite leicht aus dem ersten. Setzt man in die letzte Gleichung für p und n die vorhin erhaltenen Werte, so ergibt sich:

$$h + i = k$$

Da nun k immer negativ, so ergibt sich der Satz, daß der dritte Index die negative Summe der beiden vorigen darstellt.

Für die Zonenrechnung wird das Bravais'sche Symbol $hik\bar{l}$ so verwendet, daß nach Weglassung von k bloß die übrigen drei Indizes benutzt werden. Man

Fig. 121.

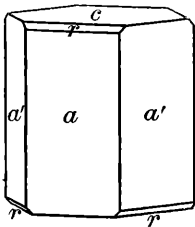


Fig. 122.

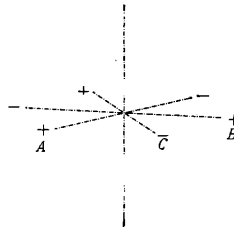
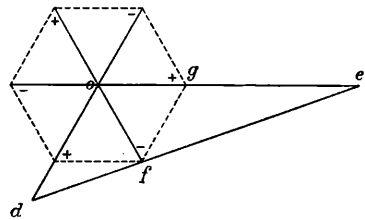


Fig. 123.



erhält als Resultat wiederum nur drei Indizes, der Wert von k wird hierauf als negative Summe der beiden ersten eingesetzt.

Miller geht bei der Wahl der Axen von dem Rhomboeder aus und nimmt die drei Polkanten als Axenrichtungen an. Demnach werden die trigonalen Formen auf drei gleiche Axen bezogen, die miteinander gleiche Winkel bilden. Diese sind aber an verschiedenen Krystallarten von verschiedener Größe. Demnach wird jede Krystallart nicht durch ein Axenverhältnis, sondern durch den Axenwinkel charakterisiert.

Stufe V. Trigonal-holoedrische Klasse. (Ditrigonal - skalenoedrische Klasse, Groth.)

Diese Formen folgen dem Gesetze dreier im Wirtel stehender Symmetrieebenen. In der Projektion, Fig. 124, sind es die Ebenen der stärker angelegten Zonen. Die drei horizontalen Axen sind zu diesen senkrecht und sind zwei-zählige Symmetrieebenen. Alle Flächen sind von Gegenflächen begleitet.

Die einfachen Formen sind zwei-, sechs- oder zwölf-flächig. Fig. 125. Zwei-flächig ist:

1. Das trisymmetrische Endflächenpaar (0001), dessen Flächen den horizontalen Axen parallel.

Sechsföckig ist:

2. das Prisma $a = (10\bar{1}0)$ mit monosymmetrischen Flächen, die zwei Axen parallel, also Endflächen sind, und miteinander je 60° bilden, ebenso

3. das Prisma zweiter Art, auch verwendetes Prisma genannt ($11\bar{2}0$), dessen Flächen die Kanten des vorigen Prismas gleichmäßig abstumpfen, Fig. 126, daher

Fig. 124.

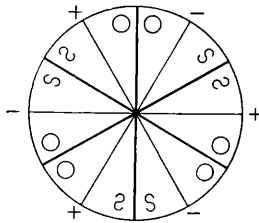


Fig. 125.

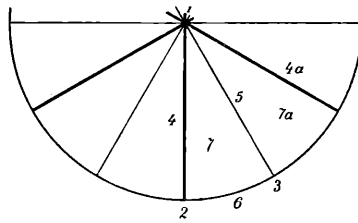
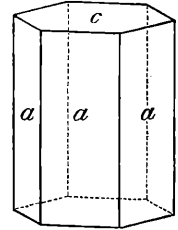


Fig. 126.



der Querschnitt dieses Prisma zu dem des vorigen sich so verhält, wie das umschriebene Sechseck zu dem eingeschriebenen, Fig. 127. Seine Flächen sind dimetrisch, da sie auf den horizontalen zweizähligen Axen senkrecht stehen (vgl. die Kombination Fig. 136).

Ferner sind sechsföckig:

4. Die Rhomboeder ($h0\bar{h}l$), deren monosymmetrische Flächen die abwechselnden horizontalen Kanten der Kombination ac abstumpfen, wie die Flächen r in Fig. 121, ebenso

4a. die Rhomboeder zweiter Art, auch verwendete Rhomboeder genannt ($0h\bar{h}l$), die bei gleicher Form gegen die vorigen um 60° verwendet erscheinen. Die monosymmetrischen Flächen derselben stumpfen in der vorgenannten Kombination die anderen abwechselnden horizontalen Kanten ab.

Fig. 127.

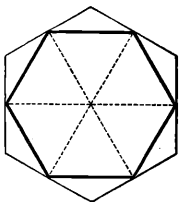


Fig. 128.

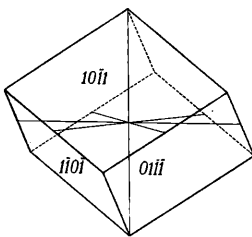


Fig. 129.

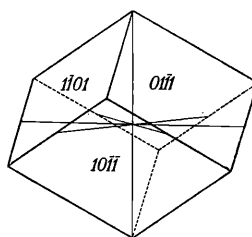
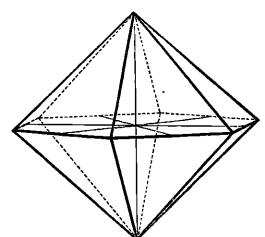


Fig. 130.



Die Rhomboeder beider Arten sind von Quer- und Längsprismenflächen begrenzt und sind geschlossene Formen, Fig. 128 und 129. Sie bestehen aus drei gleichen Flächenpaaren. Die von dem oberen und dem unteren Eck auslaufenden Kanten, die Polkanten, sind einander gleich, ebenso sind die sechs im Zickzack auf- und absteigenden Seitenkanten einander gleich.

Man vergleicht die Rhomboeder mit dem Würfel und nennt diejenigen, deren Polkanten schärfer sind als jene des Würfels, die 90° messen, spitze Rhomboeder, jene, deren Polkanten stumpfer sind, stumpfe Rhomboeder. Soll die Grenze zwischen den spitzen und stumpfen Rhomboedern durch das Axenverhältnis ausgedrückt werden, so ist zu berücksichtigen, daß der Würfel bei rhomboedrischer Aufstellung das Axenverhältnis $\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{3}{2}} = 1.2248$ darbieten würde. Bei der üblichen Aufstellung wenden die Rhomboeder erster Art oben eine Fläche gegen den Beschauer, während die Rhomboeder zweiter Art oder verwendeten Rhomboeder gegen ihn oben eine Kante zukehren.

Zwölfflächig sind:

5. die sechsseitigen Doppelpyramiden $(h, h, 2\bar{h}, l)$, deren asymmetrische Flächen die Ecken der Kombination a, c in Fig. 121 gleichförmig abstumpfen. Der sechsseitige Querschnitt entspricht jenem des Prismas zweiter Art. Diese geschlossene Form hat die Stellung wie in Fig. 130.

Fig. 131.

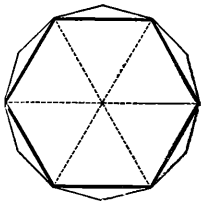


Fig. 132.

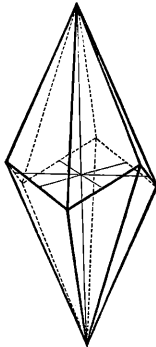


Fig. 133.

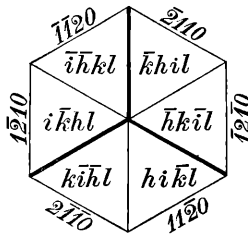
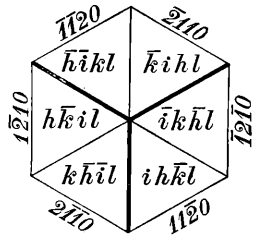


Fig. 134.



6. das zwölfseitige Prisma $(h\bar{i}k0)$, dessen asymmetrische Flächen in der Zone aa liegen. Wo das Prisma erster Art eine Fläche darbietet, erscheinen hier zwei Flächen. Die Kanten sind abwechselnd gleich. Querschnitt in Fig. 131.

7. die trigonalen Skalenoeder $(h\bar{i}k\bar{l})$ mit asymmetrischen Flächen, eine geschlossene Form bildend. Fig. 132.

7a. die Skalenoeder zweiter Art $(i\bar{h}\bar{k}l)$, auch verwendete Skalenoeder genannt, gegen die vorigen um 60° verwendet. Jedes der beiden Skalenoeder ist von Flächenpaaren eingeschlossen und hat doppelt so viele Flächen als ein Rhomboeder. Es zeigt oben und unten je sechs Polkanten, die abwechselnd gleich sind, während die sechs Seitenkanten so wie beim Rhomboeder im Zickzack auf- und absteigen und untereinander gleich sind.

Von oben gesehen bietet ein Skalenoeder erster Art ein Bild wie in Fig. 133, in welchem die schärferen Kanten stärker ausgezogen sind, ein verwendetes Skalenoeder ein Bild wie Fig. 134. Am Rande dieser Figuren sind auch die Indices des

verwendeten Prismas verzeichnet, dessen Flächen die Seitenkanten jedes Skalenoeders gleichförmig abstumpfen.

Folgendes Schema gibt in der oberen horizontalen Reihe die Indizes der oberen Flächen eines Skalenoeders an, wie sie, entsprechend der Fig. 133, rings um die Hauptaxe aufeinander folgen. Unter jedem dieser Symbole ist dasjenige angeführt, welches der unteren Fläche zukommt, die mit der oberhalb verzeichneten eine Seitenkante bildet.

$$\begin{array}{cccccc} h i \bar{k} l & \bar{h} k \bar{i} l & \bar{k} h i l & \bar{i} \bar{h} k l & i \bar{k} h l & k \bar{i} \bar{h} l \\ i h \bar{k} \bar{l} & \bar{i} k \bar{h} \bar{l} & \bar{k} i h \bar{l} & \bar{h} \bar{i} k \bar{l} & h \bar{k} i \bar{l} & k \bar{h} i \bar{l} \end{array}$$

Werden die in dem Schema Fig. 124 angegebenen zwölf Flächenpole unter Beibehaltung der drei Symmetrieebenen verschoben gedacht, so fallen entweder die sechs oberen in den Pol 0001 und zugleich die sechs unteren in den Pol 000 $\bar{1}$, wodurch das Endflächenpaar gegeben ist, oder es fallen je zwei in eine Symmetrieebene, was die in Fig. 125 mit 2, 4 und 4a bezeichneten Fälle gibt, oder es fallen je zwei in die drei Zonen zwischen den Symmetrieebenen und zugleich in die horizontale Zone, was auf den Fall 3 führt, oder alle zwölf kommen in die Zonen zwischen den Symmetrieebenen zu liegen, Fall 5, oder alle zwölf gelangen in die horizontale Zone, Fall 6, auch können die zwölf Pole sowohl in den mit 7, als in jenen mit 7a bezeichneten Räumen vorkommen.

Die Bezeichnungsweise ist nach Bravais, Naumann, Miller eine verschiedene. Naumann nimmt, so wie Bravais, vier Axen an, jedoch ist seine Symbolisierung eine komplizierte, indem er als Grundgestalt zwar eine trigonale, nämlich das Rhomboeder, annimmt und demzufolge für das Grundrhomboeder (10 $\bar{1}$ 1) als repräsentativen Buchstaben R benutzt, jedoch die trigonalen Formen als hemiedrische auffaßt und von den hexagonalen ableitet. In dem Symbol des Endflächenpaares, des Prismas und des zwölfseitigen Prismas und dem der Rhomboeder erscheint demnach das R, die Rhomboeder werden mit mR , die verwendeten Rhomboeder mit $-mR$ bezeichnet, hingegen wird die sechsseitige Doppelpyramide mit $mP2$, das verwendete Prisma mit $\infty P2$, demnach so bezeichnet, als ob sie dem hexagonalen System angehörten. Letzteres ist aber nicht richtig, weil jene trigonalen Formen von den gleichgestalteten des hexagonalen Systemes durch die Symmetrie der Flächen verschieden sind. Diese Abweichung rührt daher, daß das Symbol $mR2$, welches konsequenterweise der trigonalen Pyramide zu widmen wäre, bei Naumann eine andere Bedeutung hat, indem es einer Reihe von Skalenoedern entspricht. Naumann leitet nämlich jede Skalenoederform von jenem Rhomboeder ab, welches dieselben Seitenkanten zeigt, dessen Flächen also mit den Flächen des Skalenoeders in einer herablaufenden Zone liegen, wie z. B. das Rhomboeder r mit dem Skalenoeder v in Fig. 139. Wird die Hauptaxe jenes Rhomboeders uR mit einer Zahl v multipliziert und werden durch den Endpunkt der verlängerten Hauptaxe und in die Seitenkanten des Rhomboeders Flächen gelegt gedacht, so ergibt sich die Form eines Skalenoeders, das nach Naumann die Bezeichnung uRv erhält.

Die Symbole nach Weiß, Bravais und Naumann sind demnach für

direkte Skalenoeder	$(na : pa : a' : mc) = (h i \bar{k} l) =$	uRv
verwendete Skalenoeder	$(pa : na : a' : mc) = (i \bar{h} \bar{k} \bar{l}) =$	$-uRv$

worin $h > i$ $u = \frac{h-i}{l} = m \frac{2-n}{n}$ $v = \frac{h+i}{h-i} = \frac{n}{2-n}$

Das Bravais'sche Symbol des Skalenoeders, das nach Naumann mit uRv bezeichnet wird, sei $(hikl)$, das des Rhomboeders uR sei $(rOrs)$. Die Fläche $rOrs$ liegt in der Zone, welche durch die Flächen $hikl$ und $ihkl$ angegeben ist und deren Indizes lauten: $\bar{l}, l, h-i$, daher nach der ersten Zonenregel: $hs - is - rl = 0$, woraus $\frac{r}{s} = \frac{h-i}{l}$. Da die Hauptaxe des genannten Rhomboeders $u = \frac{r}{s}$ und die Axenlänge des daraus abgeleiteten Skalenoeders $\frac{k}{l} = \frac{h+i}{l} = uv$, so hat man: $u = \frac{h-i}{l}$ und $v = \frac{h+i}{h-i}$. Nach Substitution der aus dem früher Angeführten sich ergebenden Werte $h = \frac{k}{u}$, $i = \frac{k}{v}$, $l = \frac{k}{m}$ folgen die Beziehungen zu m und n .

Miller bezeichnet das Grundrhomboeder mit (100) , und zwar so, daß nach Bravais und Miller die Flächen $10\bar{1}1 = 100$, $\bar{1}101 = 010$ und $0\bar{1}11 = 001$. Das Endflächenpaar erhält (111) , das verwendete Prisma, das die Seitenkanten der Rhomboeder abstumpft, $(10\bar{1})$, das Prisma erster Art $(2\bar{1}\bar{1})$. Die Symbole der direkten Rhomboeder folgen dem Typus pqq , die der verwendeten dem Typus qqr , für die Skalenoeder gilt das allgemeine Symbol pqr . Für die Umwandlung der Bravais'schen Symbole in die Millerschen und umgekehrt gelten die Beziehungen:

$$p = h - k + l \qquad q = i - h + l \qquad r = k - i + l$$

und:

$$h = p - q \qquad i = q - r \qquad k = r - p \qquad l = p + q + r$$

S. Groth, Physikal. Krystallographie, 4. Auflage, p. 445.

Zur Erläuterung der Bezeichnungsweise nach Weiß, Bravais, Naumann, Miller dienen folgende Beispiele:

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Endflächenpaar | $(\infty a : \infty a : \infty a : c) = (0001) = 0R = (111)$ |
| 2. Prisma | $(a : \infty a : a' : \infty c) = (10\bar{1}0) = \infty R = (2\bar{1}\bar{1})$ |
| 3. Verwendetes Prisma | $(2a : 2a : a' : \infty c) = (11\bar{2}0) = \infty P2 = (10\bar{1})$ |
| 4. Rhomboeder | $(a : \infty a : a' : c) = (10\bar{1}1) = R = (100)$ |
| " " | $(a : \infty a : a' : \frac{1}{4}c) = (1014) = \frac{1}{4}R = (211)$ |
| " " | $(a : \infty a : a' : 2c) = (20\bar{2}1) = 2R = (5\bar{1}\bar{1})$ |
| " " | $(a : \infty a : a' : 4c) = (40\bar{4}1) = 4R = (3\bar{1}\bar{1})$ |
| 4a. Verwendetes Rhomboeder | $(\infty a : a : a' : c) = (01\bar{1}1) = -R = (22\bar{1})$ |
| " " | $(\infty a : a : a' : 2c) = (02\bar{2}1) = -2R = (11\bar{1})$ |
| " " | $(\infty a : a : a' : \frac{1}{2}c) = (01\bar{1}2) = -\frac{1}{2}R = (110)$ |
| 5. Sechseckige Doppelpyramide | $(2a : 2a : a' : 2c) = (11\bar{2}1) = P2 = (41\bar{2})$ |
| " " | $(2a : 2a : a' : \frac{2}{3}c) = (22\bar{4}3) = \frac{2}{3}P2 = (31\bar{1})$ |
| 6. Zwölfseitiges Prisma | $(\frac{2}{3}a : 3a : a' : \infty c) = (21\bar{3}0) = \infty R\frac{2}{3} = (5\bar{1}4)$ |
| 7. Skalenoeder | $(\frac{2}{3}a : 3a : a' : 3c) = (21\bar{3}1) = R3 = (20\bar{1})$ |
| " " | $(\frac{2}{3}a : 4a : a' : 2c) = (31\bar{4}2) = R2 = (30\bar{1})$ |
| " " | $(\frac{2}{3}a : 4a : a' : \frac{2}{3}c) = (31\bar{4}5) = \frac{2}{3}R2 = (410)$ |
| 7a. Verwendetes Skalenoeder | $(3a : \frac{2}{3}a : a' : \frac{2}{3}c) = (12\bar{3}2) = -\frac{1}{2}R3 = (21\bar{1})$ |
| " " | $(4a : \frac{2}{3}a : a' : 4c) = (13\bar{4}1) = -2R2 = (21\bar{2})$ |

Die Millerschen Symbole zeichnen sich durch Einfachheit aus, jedoch sind dieselben wenig charakteristisch, da die einfachen Formen derselben Art sehr verschiedene Signatur erhalten können und man aus dem Symbol nicht sogleich entnimmt, ob sich dasselbe auf eine prismatische oder auf eine pyramidale Form bezieht, was in den Bravais'schen Symbolen sogleich hervortritt. Die Naumann'schen Symbole haben trotz ihrer Inkonsequenz den Vorteil, die Formen gut zu charakterisieren.

Als einfache Beispiele trigonaler Kombinationen sind folgende am Calcit vorkommende zu betrachten:

Fig. 135 zeigt das Prisma $(10\bar{1}0) = \infty R$ und das verwendete Rhomboeder $(01\bar{1}2) = -\frac{1}{2} R$, die Fig. 136 dasselbe Rhomboeder mit dem verwendeten Prisma $(11\bar{2}0) = \infty P 2$, die Fig. 137 ein verwendetes Rhomboeder $(02\bar{2}1) = -2 R$ mit

Fig. 135.

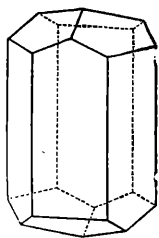


Fig. 136.

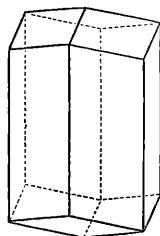


Fig. 137.

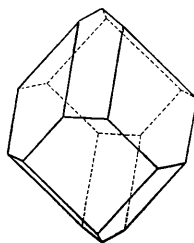
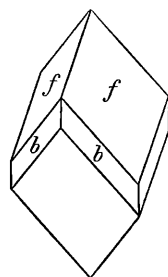


Fig. 138.



dem Grundrhomboeder $(10\bar{1}1) = R$. Letzteres stumpft die Polkanten des ersteren gleichförmig ab. Das allgemeine Gesetz, daß die Polkanten eines Rhomboeders durch die Flächen des verwendeten Rhomboeders von halb so langer Hauptaxe gleichförmig abgestumpft werden, und umgekehrt die Polkanten des verwendeten

Rhomboeders durch die Flächen des direkten von halb so langer Hauptaxe, ergibt sich nach der dritten Zonenregel. Fig. 138 zeigt die Kombination des verwendeten Rhomboeders $f = (02\bar{2}1) = -2 R$ mit dem verwendeten Prisma $b = (11\bar{2}0) = \infty P 2$. Der dimetrische Charakter der Flächen b tritt hier und in der Fig. 136 deutlich hervor, während Fig. 135 den monosymmetrischen Charakter der Flächen des Prismas erster Art erkennen läßt.

Fig. 139.

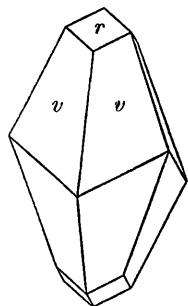


Fig. 140.

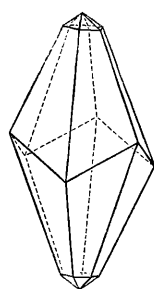


Fig. 139 gibt die Kombination des Skalenoeders $v = (21\bar{3}1) = R 3$ mit dem Grundrhomboeder $r = (10\bar{1}1) = R$ wieder. Das Skalenoeder v ist dieselbe Form, welche in Fig. 132 für sich dargestellt erscheint. In der Fig. 140 ist wiederum das Skalenoeder $v = (21\bar{3}1)$ herrschend und mit einem stumpferen Skalenoeder $(21\bar{3}4) = \frac{1}{4} R 3$ kombiniert. Fig. 141 stellt die Kombination des Rhomboeders

$m = (40\bar{4}1) = 4 R$ mit dem Skalenoeder $v = (21\bar{3}1)$ dar, welches die Polkanten jenes Rhomboeders zuspitzt, Fig. 142 die Kombination des verwendeten Rhomboeders $f = (02\bar{2}1) = -2 R$ mit dem verwendeten Skalenoeder $x = (13\bar{4}1) = -2 R 2$ dar.

Am Eisenglanz werden folgende Kombinationen öfter beobachtet:

Das Rhomboeder $r = (10\bar{1}1) = R$, dessen Polkanten durch das verwendete $e = (01\bar{1}2) = -\frac{1}{2} R$ abgestumpft erscheinen. Fig. 143, ferner dasselbe Rhomboeder r mit einem stumpfen Rhomboeder $s = (10\bar{1}4) = \frac{1}{4} R$ und der sechsseitigen Doppelpyramide $n = (22\bar{4}3) = \frac{4}{3} P 2$, Fig. 144.

Stufe IV. Trigonal-hemimorphe Klasse. (Ditrigonal-pyramidale Klasse, Groth.)

Auch diese Formen zeigen drei im Wirtel zusammentreffende Symmetrieebenen, doch sind die oberen Flächen von den damit parallelen unteren Flächen verschieden und nur in der Zone der Hauptaxe kommen Paare gleicher Flächen vor.

Fig. 141.

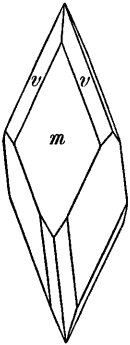


Fig. 142.

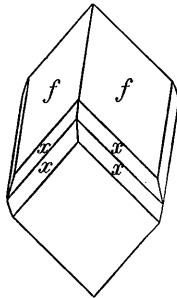


Fig. 143.

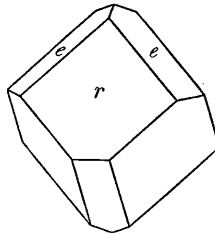
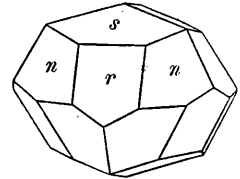


Fig. 144.



Die einfachen Formen sind einflächig, dreiflächig oder sechsflächig; alle sind offene Formen. Die Nummern haben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 125.

Einflächig sind 1. die einzelnen Endflächen 0001 und $000\bar{1}$.

Dreiflächig sind 2. die beiden dreiseitigen Prismen $(10\bar{1}0)$ und $(01\bar{1}0)$ mit monosymmetrischen Flächen,

4. die beiden polaren Rhomboeder $(h0\bar{h}l)$ oben und $(0h\bar{h}\bar{l})$ unten, mit monosymmetrischen Flächen,

4a. die beiden verwendeten polaren Rhomboeder $(0h\bar{h}l)$ oben und $(h0\bar{h}\bar{l})$ unten, mit monosymmetrischen Flächen.

Sechsflächig sind folgende Formen mit asymmetrischen Flächen:

3. das verwendete sechsseitige Prisma $(11\bar{2}0)$,

5. die polare Pyramide $(h, h, 2\bar{h}l)$ oben und $(h, h, 2\bar{h}, \bar{l})$ unten,

6. die beiden sechsseitigen Prismen $(h\bar{i}\bar{k}0)$ und $(i\bar{h}\bar{k}0)$,

7. die beiden polaren Skalenoeder $(h\bar{i}\bar{k}l)$ oben und $(i\bar{h}\bar{k}\bar{l})$ unten,

7a. die beiden verwendeten polaren Skalenoeder $(i\bar{h}\bar{k}l)$ oben und $(h\bar{i}\bar{k}\bar{l})$ unten.

In dem Schema trigonal IV, auf Seite 44, geben die sechs Flächenpole, unter Beibehaltung der angedeuteten Symmetrie verschoben gedacht, entweder ein Zusammentreffen in dem Pol einer Endfläche, oder je zwei derselben fallen in eine Symmetrieebene, was auf die dreiflächigen monosymmetrischen Formen in 2, 4 und 4a führt, während alle übrigen Lagen asymmetrische, sechsflächige Formen ergeben.

Die Turmalinkristalle bieten die schönsten hiehergehörigen Kombinationen.

In der Kombination Fig. 145 herrscht das dreiseitige Prisma $l = (01\bar{1}0)$,

während das verwendete sechsseitige Prisma

$s = (11\bar{2}0)$ schmälere Flächen zeigt. An

dem oberen Ende macht sich das polare

Rhomboeder $P = (10\bar{1}1)$ geltend, begleitet

von dem verwendeten polaren Rhomboeder

$o = (02\bar{2}1)$. An dem unteren Ende ist das

polare Rhomboeder $P = (01\bar{1}\bar{1})$ und das ver-

wendete polare Rhomboeder $n = (10\bar{1}\bar{2})$ zu

bemerkten. Fig. 146 zeigt dieselben Formen

wie die vorige, doch treten oben die Flächen

des polaren Skalenoeders $t = (21\bar{3}1)$ hinzu

und unten herrscht die Endfläche $c = (0001)$.

Fig. 145.

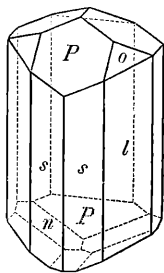
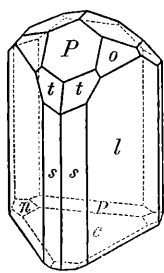


Fig. 146.



Stufe III. Trigonal-trapezoedrische Klasse. (Trigonal-trapezoedrische Klasse, Groth.)

Diesen Formen kommt keine Symmetrieebene zu. Die Flächen sind in bezug auf drei gleiche, im Wirtel zusammentreffende Zonen hemitrop angeordnet, Fig. 147

und Fig. 148. Die Axen dieser Zonen

sind polare zweizählige Symmetrieebenen.

Die Gestalt kann jener eines holoedrischen

Krystalles gleichkommen, sobald

aber Flächen außerhalb der drei Zonen

der Nebenaxen daran auftreten, wird

die Enantiomorphie deutlich.

Die einfachen Formen sind zwei-

flächig, dreiflächig oder sechsflächig.

Zweiflächig ist 1. das trimetrische

Endflächenpaar (0001) .

Dreiflächig sind 3. die beiden dreiseitigen Prismen $(11\bar{2}0)$ rechts und $(2\bar{1}\bar{1}0)$ links, mit dimetrischen Flächen von derselben Lage wie jene des verwendeten Prisma der Stufe V.

Sechsflächig sind die folgenden Formen mit asymmetrischen Flächen:

2. das sechsseitige Prisma $(10\bar{1}0)$, dem Prisma der Stufe V entsprechend,

4. das Rhomboeder $(h0\bar{h}l)$ und

4a. das verwendete Rhomboeder $(0h\bar{h}l)$, beide sind geschlossene Formen von derselben Stellung wie die Rhomboeder der Stufe V,

5. die beiden dreiseitigen Doppelpyramiden $(h, h, 2\bar{h}, l)$ rechts, Fig. 150, und $(2h, \bar{h}, \bar{h}, l)$ links, Fig. 149. Es sind geschlossene Formen, deren horizontaler Schnitt jenem der beiden dreiseitigen Prismen entspricht,

Fig. 147.

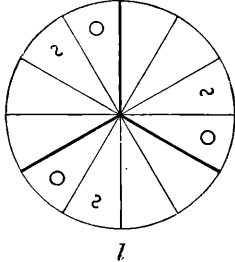
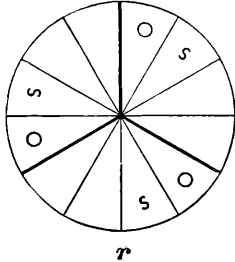


Fig. 148.



6. die beiden zweimal dreiseitigen Prismen $(h\bar{i}k0)$ rechts und $(k\bar{i}h0)$ links mit abwechselnd stumpferen und schärferen Kanten, bei derselben Flächenlage wie am zwölfseitigen Prisma der Stufe V,

7. die beiden enantiomorphen Trapezoeder $(hikl)$ rechts, Fig. 152, und $(k\bar{i}h\bar{l})$ links, Fig. 151. Sie sind geschlossene Formen, deren sechs Polkanten gleich und deren sechs auf- und absteigende Seitenkanten abwechselnd gleich sind,

Fig. 149.

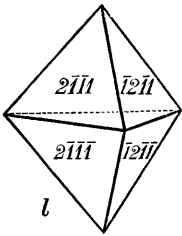


Fig. 150.

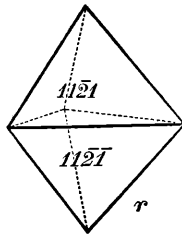
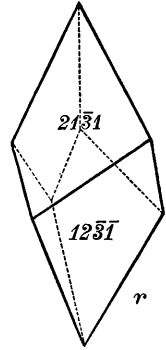


Fig. 151.



Fig. 152.



7a. die beiden verwendeten Trapezoeder $(ihkl)$ links und $(\bar{i}k\bar{h}l)$ rechts. Sie sind ebenfalls enantiomorph.

Durch Verschiebung der sechs Pole in Fig. 147 und 148 unter Beibehaltung der Symmetrie ergibt sich, daß immer zwei derselben gleichzeitig in dieselbe Zone eintreten können, was auf die Fälle 2. bis 6. führt.

In der Fig. 153 ist ein Linksquarz, in Fig. 154 ein Rechtsquarz abgebildet. An beiden herrscht das sechsseitige Prisma $a = (10\bar{1}0)$ und das Rhomboeder $p = (10\bar{1}1)$, während das verwendete Rhomboeder $z = (01\bar{1}1)$ kleinere Flächen bildet. An dem Rechtsquarz erkennt man außerdem das rechte Trapezoeder $x = (51\bar{6}1)$ und die rechte dreiseitige Doppelpyramide $s = (11\bar{2}1)$, an dem Linksquarz die entsprechenden beiden Formen $x = (61\bar{5}1)$ und $s = (2\bar{1}\bar{1}1)$.

Fig. 153.

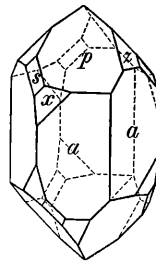
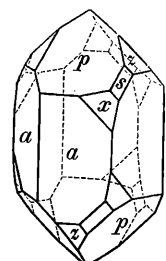


Fig. 154.



Stufe II. Trigonal-hemiedrische Klasse. (Rhomboedrische Klasse, Groth.)

Auch diese Formen zeigen keine Symmetrieebene. Außer der dreizähligen Hauptaxe ist nur ein Symmetriezentrum vorhanden. Die Flächen sind bezüglich dreier im Wirtel zusammentreffenden Zonen gleich und paarweise angeordnet nach dem Schema in Fig. 155. Die Gestalt kann jener eines holodrischen Krystalles gleichen, wenn aber Pyramidenflächen auftreten, ist der Charakter dieser Stufe

ausgeprägt. Wenn an dem oberen Teile des Krystalles derlei Flächen nach rechts gewendet erscheinen, so sind die spiegelbildlich gleichen Flächen an dem unteren Teile nach links gewendet. Eine Enantiomorphie ist daher ausgeschlossen.

Fig. 155.

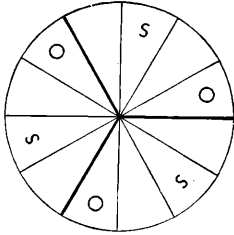


Fig. 156.

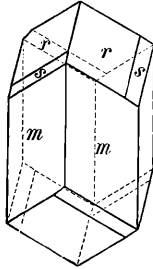


Fig. 157.

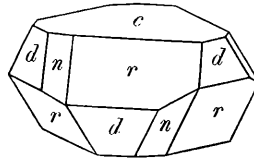
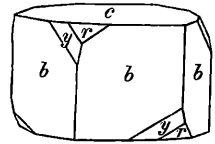


Fig. 158.



Die einfachen Formen sind zweiflächig oder sechsflächig.

Zweiflächig ist 1. das trimetrische Endflächenpaar (0001).

Alle übrigen Formen haben sechs asymmetrische Flächen:

2. das Prisma $(10\bar{1}0)$,

3. das verwendete Prisma $(11\bar{2}0)$,

4. das Rhomboeder erster Art $(h0\bar{h}l)$ und 4a, das verwendete Rhomboeder $(0h\bar{h}l)$,

5. die beiden Rhomboeder zweiter Art $(h, h, 2\bar{h}, l)$ rechts und $(2h, \bar{h}, \bar{h}, l)$ links,

7. die Rhomboeder dritter Art $(h i \bar{k} l)$ und 7a die zugehörigen verwendeten $(i h \bar{k} l)$,

6. die gewendeten sechsseitigen Prismen $(h i \bar{k} 0)$.

Aus dem Schema, Fig. 155, ist ersichtlich, daß durch gleichartige Verschiebung der dort angegebenen sechs Pole, welche drei Flächenpaare darstellen, abgesehen von dem Endflächenpaare, bloß sechsseitige Prismen und Rhomboeder abgeleitet werden können und die Flächen der beiden letzteren Formen asymmetrisch sind.

Fig. 156 stellt einen Dioptaskrystal dar, an dem ein verwendetes Prisma $m = (11\bar{2}0)$ und ein verwendetes Rhomboeder $r = (02\bar{2}1)$ herrschen und untergeordnet die Flächen eines verwendeten Rhomboeders dritter Art $s = (14, \bar{1}\bar{3}, \bar{1}, 6)$ auftreten.

Fig. 157 zeigt die gewöhnliche Ausbildung von Ilmenitkrystallen, an denen das Rhomboeder $r = (10\bar{1}0)$, das verwendete Rhomboeder $d = (02\bar{2}1)$ und ein Rhomboeder zweiter Art $n = (42\bar{2}3)$ vorkommen. Fig. 158 gibt eine am Dolomit beobachtete Kombination wieder mit dem verwendeten Prisma $b = (11\bar{2}0)$, dem Endflächenpaar (0001) und untergeordnet die Flächen des Rhomboeders $r = (10\bar{1}1)$ und eines Rhomboeders dritter Art $y = (5\bar{2}\bar{3}1)$ zeigend.

Stufe I. Trigonal-tetartoedrische Klasse. (Trigonal-pyramidale Klasse, Groth.)

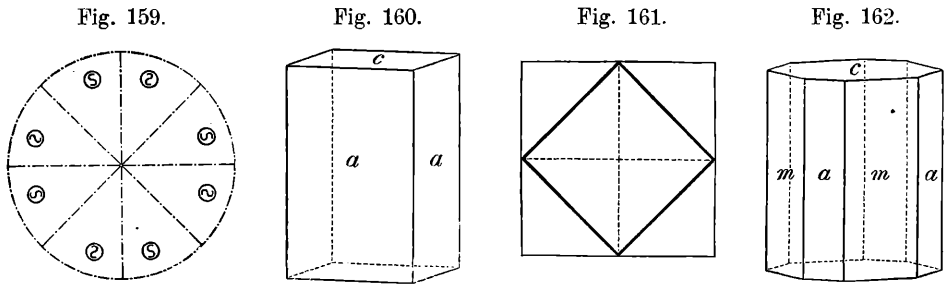
Das Schema gibt an, daß an diesen Formen, abgesehen von dem Endflächenpaare, je drei gleiche Flächen in gleicher Anordnung um die Hauptaxe vorkommen. Ein Beispiel aus der Reihe der Minerale ist noch nicht bekannt.

37. Tetragonales System. Das charakteristische Zonensystem dieser Abteilung besteht aus zwei gleichen, zueinander senkrechten Zonen der einen Art, ferner aus zwei gleichen Zonen der anderen Art, welche mit den vorigen einen gleichförmigen Wirtel bilden, endlich aus einer zu allen diesen senkrechten Zone. Zur Darstellung der Parameterverhältnisse werden drei Axen benutzt, wovon die beiden horizontalen die Axen der zuerst genannten Zonen sind und die dritte, die vertikale oder Hauptaxe, zu den horizontalen senkrecht ist. Die Axen sind also rechtwinkelig wie in dem rhombischen Systeme, doch sind die beiden horizontalen Axen gleich, daher das Axenverhältnis mit $a : a : c$ bezeichnet wird. Die Länge a wird als Einheit angenommen und das Axenverhältnis ist durch einen einzigen Winkel gegeben.

Da man von den Zonen, die zu zweien gleich sind, sowohl die einen wie die anderen als Zonen erster Art betrachten kann, so läßt sich jeder tetragonale Krystall auf zwei verschiedene Arten aufstellen, die im Horizontalwinkel um 45° verschieden sind.

Stufe V. Tetragonal-holoedrische Klasse. (Ditetragonal-bipyramidale Klasse, Groth.)

Hier sind die Ebenen der vorgenannten Zonen zugleich Symmetrieebenen, wonach die Formen von zwei Symmetrieebenen der einen Art, von zweien der anderen Art und von einer zu allen diesen senkrechten, zusammen von fünf



Symmetrieebenen beherrscht werden. Siehe Fig. 159. Die ersteren vier Symmetrieebenen folgen unter Winkeln von 45° aufeinander. Die Hauptaxe ist vierzählige Symmetrieaxe, die Durchschnittslinien der Hauptsymmetrieebene mit den vertikalen Symmetrieebenen sind zweizählige Symmetrieachsen. Ein Symmetriezentrum ist vorhanden.

Die einfachen Formen sind zwei-, vier-, acht- oder sechzehnflächig.

Zweiflächig ist 1. das Endflächenpaar $c = (001)$ mit tetrasymmetrischen Flächen.

Vierflächig sind:

2. das Prisma $m = (110)$,

3. das verwendete Prisma $a = (100)$ Fig. 160.

Beide haben disymmetrische Flächen; der Querschnitt der ersten verhält sich zu dem der zweiten wie das eingeschriebene Quadrat zu dem umschriebenen, Fig. 161. Die Kombination beider ist in Fig. 162 dargestellt.

$x = (311)$ auftritt. Am Zinnerz wurde die in Fig. 169 dargestellte Kombination beobachtet, welche das Prisma $m = (110)$ und die Doppelpyramide $s = (111)$ zeigt, welche Formen von einer achtseitigen Doppelpyramide $z = (321)$, der verwendeten Doppelpyramide $e = (101)$, dem achtseitigen Prisma $r = (210)$ und dem verwendeten Prisma $a = (100)$ begleitet sind.

Stufe IV. Tetragonal-hemimorphe Klasse. (Ditetragonal-pyramidale Klasse, Groth.)

Formen mit vier im Wirtel stehenden Symmetrieebenen. Die oberen Flächen sind von den unteren verschieden. Krystalle dieser Art sind noch nicht unzweifelhaft an Mineralen nachgewiesen.

Stufe IVa. Tetragonal-sphenoidische Klasse. (Skalenoedrische Klasse, Groth.)

Das hier herrschende Gesetz gibt zwei Symmetrieebenen an, die sich in der Hauptaxe schneiden. Diese ist zweizählige Symmetrieaxe, zugleich vierzählige Inversionsaxe. Zweizählige horizontale Nebenaxen schneiden die Symmetrieebenen unter 45° (ausgezogene Durchmesser, Fig. 170). Die Oktanten, welche durch die

Fig. 166.

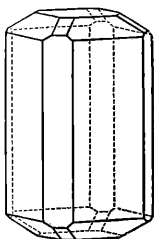


Fig. 167.

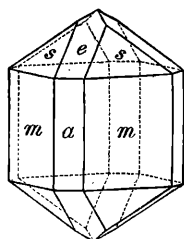


Fig. 168.

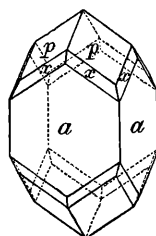
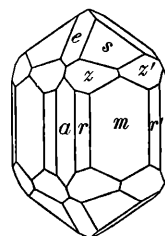


Fig. 169.



zwei Symmetrieebenen und eine dritte zur Hauptaxe senkrechte Ebene gebildet werden, verhalten sich nur abwechselnd gleich. Man pflegt die Krystalle so aufzustellen, daß sie dem Schema in Fig. 170 entsprechen. Es ist dasselbe wie das auf Seite 44 abgebildete, jedoch um 45° verwendet, was nach dem früher Gesagten gestattet ist.

Die einfachen Formen sind zwei-, vier- oder achtflächig.

Zweiflächig ist 1. das Endflächenpaar (001) mit disymmetrischen Flächen.

Vierflächig sind:

2. das Prisma (110) mit monosymmetrischen,
3. das verwendete Prisma (100) mit dimetrischen Flächen,

4. die beiden Doppelsphenoide (hhl) und $(h\bar{h}l)$, geschlossene Formen mit monosymmetrischen Flächen und zweierlei Kanten, indem die obere mit der unteren gleich und alle vier Seitenkanten untereinander gleich sind. Durch letzteres unterscheiden sie sich von den rhombischen Doppelsphenoiden (Seite 63), ferner dadurch, daß beide tetragonalen Doppelsphenoide geometrisch gleich sind und sich nur durch die Stellung unterscheiden. Man bezeichnet diese Stellungen oft als positiv und

negativ, was aber keinen Gegensatz bedeutet. In Fig. 171 erscheinen beide Doppelsphenoide kombiniert.

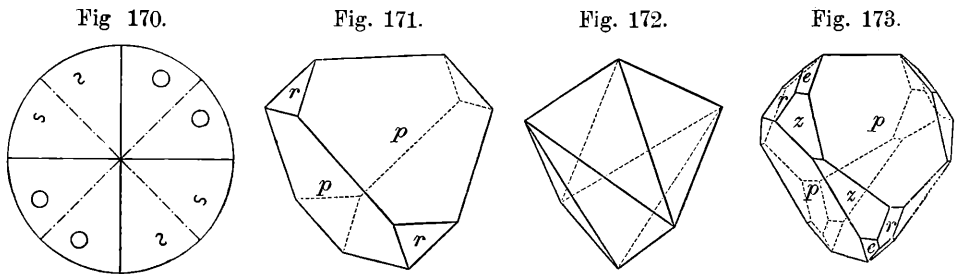
Achtflächig mit asymmetrischen Flächen sind die übrigen Formen:

5. die verwendete vierseitige Doppelpyramide ($h0l$), eine geschlossene Form, von der gleichbenannten in Stufe V durch die Asymmetrie der Flächen verschieden.

6. das achtseitige Prisma ($hk0$) mit abwechselnd gleichen Kanten,

7. das tetragonale Skalenoeder (hkl), eine geschlossene Form mit dreierlei Kanten, Fig. 172, welche wie das Doppelsphenoid in zwei Stellungen erscheinen kann.

Von den Mineralen gibt nur der Kupferkies ein Beispiel. In Fig. 171 erscheint die Kombination der beiden Doppelsphenoide $p=(111)$ und $r=(\bar{1}\bar{1}1)$ Fig. 173 bildet eine Kombination ab, in der $p=(111)$ herrscht und von dem



zweiten Doppelsphenoid $r=(\bar{1}\bar{1}1)$, der verwendeten Doppelpyramide $z=(201)$ und einer anderen verwendeten Doppelpyramide $e=(101)$ begleitet ist.

Stufe III. Tetragonal-trapezoedrische Klasse. (Trapezoedrische Klasse. Groth.)

Formen ohne Symmetrieebenen. Die Flächen, welche zwei oder drei Axen schneiden, sind in bezug auf je zwei gleiche Zonen hemitrop angeordnet. Bisher sind unter den Mineralen keine hiehergehörigen Beispiele bekannt.

Stufe II. Pyramidal-hemiedrische Klasse. (Bipyramidale Klasse, Groth.)

Parallelfächige Formen, die von einer horizontalen Symmetrieebene beherrscht werden. Sie haben eine vierzählige Hauptaxe und ein Symmetriezentrum. Siehe Fig. 174.

Die einfachen Formen sind zwei-, vier- oder achtflächig.

Zweiflächig ist 1. das Endflächenpaar (001) mit tetrametrischen Flächen.

Vierflächig mit monosymmetrischen Flächen, in denen die Symmetrielinie horizontal:

2. das Prisma (110) ,

3. das verwendete Prisma (100) und

6. das gewendete Prisma, das in zwei Stellungen ($hk0$) und ($h\bar{k}0$) vorkommen kann. Der Querschnitt dieser Prismen ist ein Quadrat, welches gegenüber dem Querschnitte des Prismas (110) um einen Winkel gedreht erscheint. In Fig. 175 ist das Quadrat für ($hk0$) ausgezogen, jenes für ($h\bar{k}0$) punktiert.

Achtflächig mit asymmetrischen Flächen sind:

4. die vierseitige Doppelpyramide (hhl), ferner
5. die verwendete Doppelpyramide ($h0l$), endlich

7. die gewendete vierseitige Doppelpyramide, die in zwei Stellungen (hkl) und ($h\bar{k}l$) auftreten kann und deren Querschnitt jenem der gewendeten Prismen entspricht.

Der Scheelitkrystall, Fig. 176, zeigt vorherrschend die Doppelpyramide $p=(111)$, außerdem die verwendete Doppelpyramide $n=(201)$ und die gewendete Doppelpyramide $x=(421)$. Fig. 177 stellt eine an Meionitkrystallen beobachtete

Fig. 174.

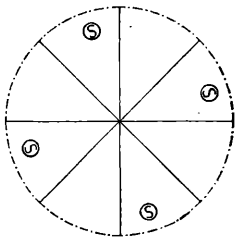


Fig. 175.

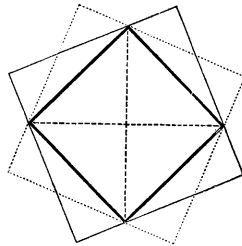


Fig. 176.

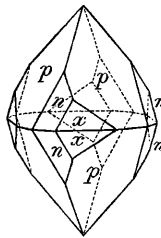
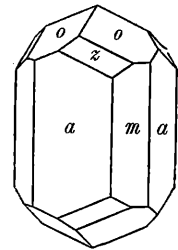


Fig. 177.



Kombination dar, in der das verwendete Prisma $a=(100)$ und die Doppelpyramide $o=(111)$ herrschen und auch das Prisma $m=(110)$ und die gewendete Doppelpyramide $z=(311)$ bemerkbar sind.

Stufe I. Hemimorph-hemiedrische Klasse. (Pyramidale Klasse, Groth.)

Der vierzähligen Hauptaxe entsprechen je vier deckbar gleiche Flächen, wobei die oberen Flächen von den unteren verschieden sind. Siehe Fig. 76 auf S. 44.

Die einfachen Formen sind einflächig, nämlich die Endfläche, oder vierflächig, nämlich alle übrigen sechs. Hieher scheinen die Krystalle des Wulfenits zu gehören.

Stufe Ia. Sphenoidisch-tetartoedrische Klasse. (Bisphenoidische Klasse, Groth.)

Die zweizählige Hauptaxe ist gleichzeitig vierzählige Inversionsaxe, d. h. zu zwei hemitropen Flächen treten in vierzählig bipolarer Anordnung auf der Unterseite zwei spiegelbildlich gleiche. Ein Beispiel ist bis jetzt nicht bekannt.

38. Hexagonales System. Die hiehergehörigen Formen folgen einem Zonensystem, das drei untereinander gleiche, binäre, im Wirtel stehende Zonen, außerdem drei Zonen, welche demselben Wirtel angehören, die Winkel der vorigen halbieren und auch miteinander gleich sind, endlich eine zu allen diesen senkrechte Zone aufweist. Für die Krystallaxen werden die Axen dreier gleichen Zonen benutzt, welche drei horizontale Axen liefern, zu denen die aufrechte oder Hauptaxe senkrecht ist. Demnach werden hier wie im trigonalen Systeme vier Axen angenommen und deren Äste wie dort bezeichnet. Das Verhältnis der Axen wird also auch hier

$a:a:a:c$ geschrieben. Zur Charakterisierung jeder Krystallart ist also eine einzige Zahl, dem Verhältnis $a:c$ entsprechend, folglich ein einziger Winkel hinreichend. Die hexagonalen Krystalle lassen sich (wie die tetragonalen) auf zwei Arten aufstellen, die um 30° verschieden sind.

Für die Symbole gilt dasselbe, was für das trigonale System angeführt wurde. Gemäß der Annahme von vier Axen werden die Bravais'schen Symbole auch hier angewendet. Nach Miller werden auch hier bloß drei Axen und als einfachste Form das Rhomboeder angenommen. Dieses Verfahren leitet dazu, alle Pyramiden als Kombinationen trigonaler Formen zu bezeichnen, was der Symmetrie des hexagonalen Systemes widerspricht. Die Naumann'sche Symbolik schließt sich der des trigonalen Systemes an.

In dem hexagonalen und dem trigonalen Systeme sind die prismatischen Formen und die verwendete Pyramide in mehreren Stufen geometrisch gleich. Wenn ein Krystall bloß derlei Formen zeigt, z. B. ein sechsseitiges Prisma und die Endflächen, so bleibt oft ein Zweifel, ob derselbe dem einen oder dem anderen Systeme angehört. Allerdings ist hier der Charakter der Flächen entscheidend, allein die Bestimmung dieses Charakters (durch Anätzen) ist oft mit Schwierigkeiten verbunden, weil dieselbe vollkommen glatte Flächen voraussetzt.

Stufe V. Hexagonal-holoedrische Klasse. (Dihexagonal-bipyramidale Klasse, Groth.)

Die Ebenen der vorher genannten sieben Zonen sind hier Symmetrieebenen. Von diesen sind je drei einander gleich, während die zu denselben senkrechten davon verschieden sind. Außer der sechszähligen Hauptaxe sind zweimal drei zweizählige horizontale Symmetrieaxen und das Symmetriezentrum vorhanden. Siehe das Schema in Fig. 178.

Die einfachen Formen sind zwei-, sechs-, zwölf- oder vierundzwanzigflächig. Sie werden hier in derselben Folge angeführt wie im trigonalen Systeme.

Zweiflächig ist 1. das Endflächenpaar $c = (0001)$ mit hexasymmetrischen Flächen.

Sechsfächig mit disymmetrischen Flächen sind:

2. das Prisma $a = (10\bar{1}0)$ mit sechs gleichen Kanten, Fig. 179,

3. das verwendete Prisma $(11\bar{2}0)$ gleichfalls mit sechs gleichen Kanten. Der Querschnitt des vorigen und des verwendeten Prismas verhalten sich in der Stellung wie das eingeschriebene reguläre Sechseck zu dem umschriebenen. Die Kombination beider mit der Endfläche ist in Fig. 180 dargestellt.

Zwölfflächig mit monosymmetrischen Flächen sind:

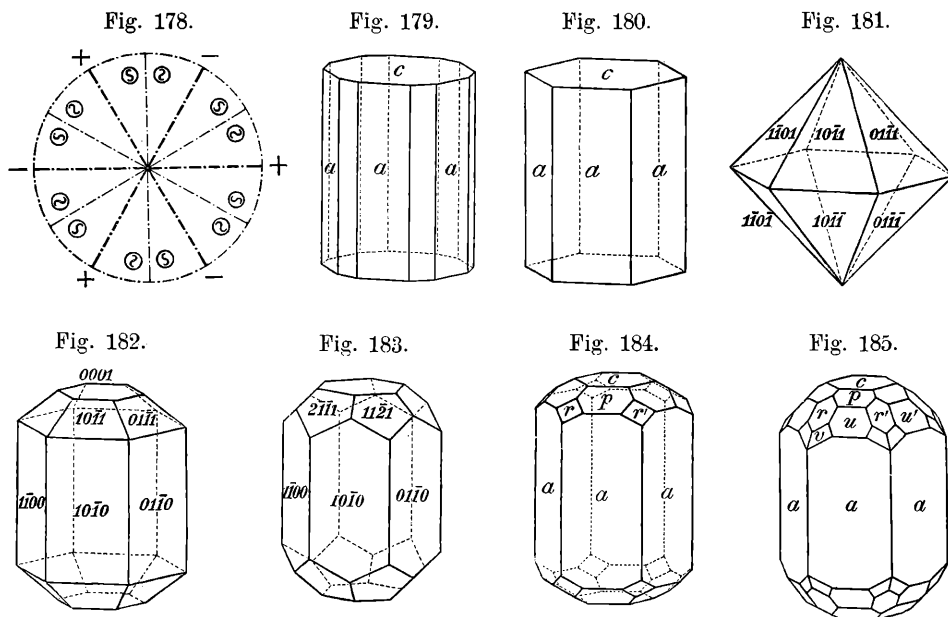
4. die sechsseitige Doppelpyramide $(h\ 0\ \bar{h}\ l)$, eine geschlossene Form, deren zwölf Polkanten einander gleich und deren sechs Seitenkanten wieder untereinander gleich sind. In Fig. 181 ist die Form $(10\bar{1}1)$ für sich, in Fig. 182 aber in Kombination mit dem Prisma und der Endfläche gezeichnet,

5. die verwendete sechsseitige Doppelpyramide $(h, h, 2\bar{h}, l)$, eine geschlossene Form, deren Kanten sich wie bei der vorigen verhalten und deren Querschnitt jenem des verwendeten Prisma entspricht. In der Kombination, Fig. 183, erscheint eine solche neben dem Prisma a und der Endfläche.

6. das zwölfseitige Prisma ($h\bar{i}k0$) mit abwechselnd gleichen Kanten, im Querschnitte ein hexasymmetrisches Zwölfeck liefernd.

Vierundzwanzig Flächen zeigt die:

7. zwölfseitige Doppelpyramide ($h\bar{i}k\bar{l}$), eine geschlossene Form mit asymmetrischen Flächen, woran die Polkanten abwechselnd gleich, die Seitenkanten sämtlich gleich sind. Das Schema in Fig. 178 stellt zugleich die Projektion einer zwölfseitigen Doppelpyramide vor.



Die Bezeichnung der Formen entspricht jener im trigonalen Systeme.

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Endflächenpaar | $(\infty a : \infty a : \infty a' : c) = (0001) = 0 P$ |
| 2. Prisma | $(a : \infty a : a' : \infty c) = (10\bar{1}0) = \infty P$ |
| 3. Verwendetes Prisma | $(2a : 2a : a' : \infty c) = (11\bar{2}0) = \infty P 2$ |
| 4. Doppelpyramide | $(a : \infty a : a' : c) = (10\bar{1}1) = P$ |
| " " | $(a : \infty a : a' : \frac{1}{3}c) = (10\bar{1}3) = \frac{1}{3} P$ |
| 5. Verwendete Doppelpyramide | $(2a : 2a : a' : c) = (11\bar{2}2) = P 2$ |
| " " | $(2a : 2a : a' : 2c) = (11\bar{2}1) = 2 P 2$ |
| 6. Zwölfseitiges Prisma | $(\frac{2}{3}a : 3a : a' : \infty c) = (21\bar{3}0) = \infty P \frac{2}{3}$ |
| 7. Zwölfseitige Doppelpyramide | $(\frac{2}{3}a : 3a : a' : 3c) = (21\bar{3}1) = 3 P \frac{2}{3}$ |
| " " | $(\frac{2}{3}a : 4a : a' : \frac{1}{3}c) = (31\bar{4}5) = \frac{1}{3} P \frac{2}{3}$ |

Hiehergehörige Krystalle, die eine zusammengesetzte Kombination darbieten, sind selten. Der Beryll ist bisher das einzige Beispiel. Die Figuren 182 bis 185 stellen Beryllkrystalle dar. In Fig. 184 herrscht das Prisma $a = (10\bar{1}0)$, welches mit dem Endflächenpaar $c = (0001)$ der Pyramide $p = (10\bar{1}1)$ und der verwendeten Pyramide $r = (11\bar{2}1)$ kombiniert erscheint. Die Indizes für r ergeben sich aus der Zonenlage. In Fig. 185 kommen dazu noch die Flächen der Pyramide

$u = (20\bar{2}1)$ und der zwölfseitigen Pyramide $v = (21\bar{3}1)$, beide durch Zonen bestimmbar.

Stufe IV. Hexagonal-hemimorphe Klasse. (Dihexagonal - pyramidale Klasse, Groth.)

Die Anordnung der Flächen folgt sechs im Wirtel stehenden Symmetrieebenen, die abwechselnd gleich sind. Die oberen Flächen sind von den unteren verschieden. Die hiergehörigen Formen entsprechen dem Typus nach der Fig. 78 auf S. 47.

Beispiele sind Greenockit, Wurtzit.

Stufe IVa. Trigonotyp-hemiedrische Klasse. (Ditrigonal-bipyramidale Klasse, Groth.)

Drei im Wirtel stehende gleiche und eine dazu senkrechte Symmetrieebene. Die Hauptaxe ist dreizählige Symmetrieaxe, die Durchschnittslinien der horizontalen mit den drei vertikalen Symmetrieebenen sind polare zweizählige Axen. Nach

Fig. 186.

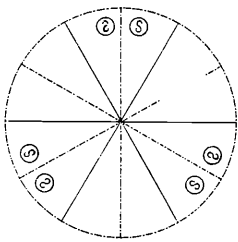
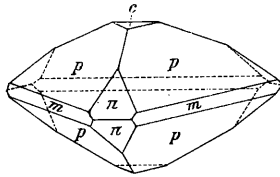


Fig. 187.



der gewöhnlichen Art der Aufstellung liegen sie unter Winkeln von 30° zwischen den Nebenaxen des Axenkreuzes. Symmetriezentrum fehlt. Vergl. das Schema Fig. 186.

Die dreizählige Hauptaxe ist zugleich sechs-zählige Inversionsaxe; d. h. von sechs in gleichen Winkeln

um die Hauptaxe verteilten Flächennormalen gehören nur drei der Oberseite, die drei abwechselnden nach dem Gesetz der Bipolarität der Unterseite an; hiedurch wird die Zugehörigkeit dieser Klasse zum hexagonalen System gerechtfertigt.

Die Formen sind zwei-, drei-, sechs- oder zwölf-flächig.

Zweiflächig mit trisymmetrischen Flächen ist:

1. das Endflächenpaar (0001) .

Dreiflächig mit disymmetrischen Flächen sind:

2. die beiden dreiseitigen Prismen $(10\bar{1}0)$ und $(01\bar{1}0)$.

Sechsfächig mit monosymmetrischen Flächen sind:

3. das verwendete sechsseitige Prisma $(11\bar{2}0)$,

4. die beiden dreiseitigen Doppelpyramiden $(h0\bar{h}l)$ und $(0h\bar{h}l)$,

6. die zweimal dreiseitigen Prismen $(hik0)$ und $(ih\bar{k}0)$.

Zwölf-flächig mit asymmetrischen Flächen sind:

5. die verwendete sechsseitige Doppelpyramide $(h, h, \bar{2}h, l)$,

7. die zweimal dreiseitigen ungleichkantigen Doppelpyramiden $(hikl)$ und $(ih\bar{k}l)$.

Formen dieser Klasse sind an dem Benitoit nachgewiesen worden. Die Fig. 187 zeigt die Kombination des Endflächenpaares mit den beiden dreiseitigen Doppelpyramiden p $(101\bar{1})$ und r $(01\bar{1}1)$, dem dreiseitigen Prisma m $(01\bar{1}0)$.

Stufe III. Hexagonal-trapezoedrische Klasse. (Trapezoedrische Klasse, Groth.)

Keine Symmetrieebene, Anordnung der Flächen hemitrop zu jeder der drei gleichen Zonen. Unter den Mineralen ist bisher keine hiehergehörige Form bekannt.

Stufe II. Pyramidal-hemiedrische Klasse. (Hexagonal - bipyramidale Klasse, Groth.)

Die Formen sind parallelfächig und gemäß einer horizontalen Symmetrieebene angeordnet, Fig. 188.

Zweiflächig ist:

1. das Endflächenpaar (0001) mit hexametrischen Flächen.

Sechsfächig sind:

2. das Prisma $(10\bar{1}0)$, dann

3. das verwendete Prisma $(11\bar{2}0)$, ferner

6. die gewendeten Prismen $(h\bar{i}k0)$ und $(k\bar{i}h0)$.

Die Flächen der drei Prismenarten sind monosymmetrisch, die Symmetrielinien liegen horizontal.

Zwölfjährig mit asymmetrischen Flächen sind:

4. die Doppelpyramide $(h0\bar{h}l)$, dann

5. die verwendete Doppelpyramide $(h,h,2\bar{h},l)$, und

7. die gewendeten Doppelpyramiden $(h\bar{i}kl)$ und $(k\bar{i}hl)$.

Als Beispiel kann der in Fig. 189 abgebildete Apatitkrystall dienen, woran die Endflächen $c = (0001)$, das Prisma $a = (10\bar{1}0)$ vorwiegend ausgebildet sind und von der Doppelpyramide $x = (10\bar{1}1)$, ferner von den Flächen der verwendeten Doppelpyramide $s = (11\bar{2}1)$ und jenen der gewendeten Doppelpyramide $u = (21\bar{3}1)$ begleitet sind.

Stufe I. Hemimorph-hemiedrische Klasse. (Hexagonal-pyramidale Klasse, Groth.)

Eine polare sechszählige Hauptaxe beherrscht die Form. Drei gleichen Zonen entsprechen je zwei gleiche Flächen, wobei die oberen Flächen von den unteren Flächen verschieden sind.

Hierher gehört nach Baumhauers Ätzversuchen der Nephelin, an dessen Krystallen die Prismflächen $(10\bar{1}0)$ sich asymmetrisch erweisen.

Stufe Ia. Trigontyp-tetartoedrische Klasse. (Trigonal-bipyramidale Klasse, Groth.)

Eine horizontale Symmetrieebene und eine sechszählige Inversionsaxe senkrecht dazu, welche gleichzeitig dreizählige Symmetrieaxe ist. Die Formen sind ein Endflächenpaar, dreiseitige Prismen und dreiseitige Doppelpyramiden.

Ein Beispiel ist bisher nicht bekannt.

Fig. 188.

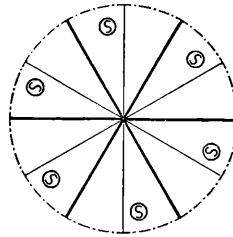
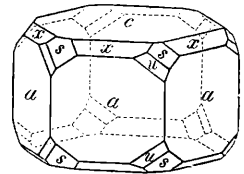


Fig. 189.



39. Tesserales System. Das Zonensystem der tesserale Krystalle bietet den höchsten Grad der Regelmäßigkeit dar, indem von den neun Zonen, welche jedem Krystall wesentlich, sowohl die sechs Zonen erster Art untereinander gleich als auch die drei Zonen zweiter Art einander gleich sind. In der Kugelprojektion der entsprechenden Zonenkreise, Fig. 190, zeigen sich 6 viergliedrige Durchschnittspunkte, in denen sich zwei Zonen erster Art und zwei Zonen zweiter Art unter Winkeln von 45° schneiden, ferner 8 dreigliedrige, in denen sich drei Zonen zweiter Art unter Winkeln von 60° treffen, endlich 12 zweigliedrige, in denen eine Zone erster und eine zweiter Art sich rechtwinklig schneiden.

Den dreigliedrigen Durchschnittspunkten entsprechen bei allen tesserale Krystallen vier dreizählige Symmetrieaxen und die Zonen sind um diese ebenso angeordnet wie die Zonen um den Endflächenpol trigonaler Krystalle. Die Zonenstücke, welche die dreigliedrigen mit den viergliedrigen Punkten verbinden, erscheinen hier als Medianzonen. In Fig. 190 sind sie stärker ausgezogen. Die Axen dieser Zonen entsprechen den vorhin erwähnten zweigliedrigen Durchschnittspunkten und

Fig. 190.

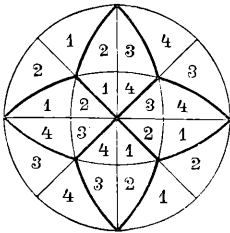


Fig. 191.

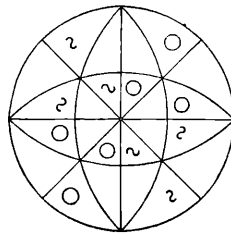
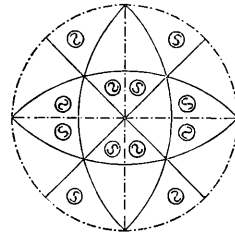


Fig. 192.



diese Zonenaxen stehen je zu dreien senkrecht auf einer der dreizähligen Axen. Sie können gleichfalls Symmetrieaxen sein; ebenso sind die viergliedrigen Punkte die Örter von ferneren Symmetrieaxen.

Werden die Zonenstücke zwischen den drei- und viergliedrigen Punkten stärker hervorgehoben, so entstehen auf der Projektionskugel zwölf vierteilige Felder. Innerhalb jedes derselben stoßen vier einzelne Felder mit ihren rechtwinkligen Ecken an den zweigliedrigen Punkten zusammen und es ergeben sich 4 Positionen, die mit den Ziffern 1 bis 4 gekennzeichnet sind. Die analoge Bezifferung ist in der Figur über die ganze Vorderseite ausgedehnt. Um dieses Schema zur Ableitung der Symmetrieklassen zu benützen, denken wir uns die Rückseite ebenso beziffert, so daß nach Drehung um 180° um die Horizontale die Rückseite sich mit der gezeichneten Vorderseite decken würde. Es liegt dann hinter jedem Felde 1 der Vorderseite ein Feld 4 der Rückseite und umgekehrt; ebenso hinter jedem Feld 2 der Vorderseite ein Feld 3 der Rückseite und umgekehrt.

Zur Ableitung benützen wir die Analogie mit der Anordnung der Flächen im trigonalen Krystallsystem. Die Anwendung des Prinzipes I besteht dann darin, daß zu dreizähligen Axen weder ein Symmetriezentrum (Prinzip II) noch parallel zu ihnen Symmetrieebenen (Prinzip IV), noch senkrecht zu ihnen zweizählige Symmetrieaxen (Prinzip III) hinzutreten. Es sind dann bloß zwölf deckbar gleiche

Felder, z. B. die mit 1 bezeichneten Positionen von gleichen Krystallflächen eingenommen (Fig. 191) und man erkennt, daß in den vierzähligen Punkten des Zonensystems zweizählige Symmetrieachsen auftreten.

Es ist leicht zu ersehen, daß innerhalb dieser Stufe immer vier Formen von gleichen Winkeln möglich sind.

Prinzip II (Symmetriezentrum) erfordert zu jeder Fläche die Gegenfläche, d. h. es sind außer den Positionen 1 auch die Positionen 4 durch spiegelbildlich gleiche Flächen besetzt. Zu den Symmetrieachsen wie in I treten drei Symmetrieebenen in den Zonen zweiter Art hinzu. Wie ersichtlich, ergeben die Positionen 2, 3 eine korrelate, winkelgleiche Form (Fig. 192).

Prinzip III erfordert senkrecht zu den dreizähligen Axen zweizählige Symmetrieachsen in den zweigliedrigen Durchschnittspunkten des Zonensystems. Hiernach sind die Positionen 1 und 3 durch deckbar gleiche Flächen besetzt. Man erkennt, daß um die viergliedrigen Durchschnittspunkte des Zonenschemas vier gleiche

Fig. 193.

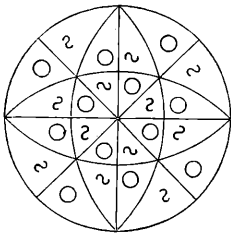


Fig. 194.

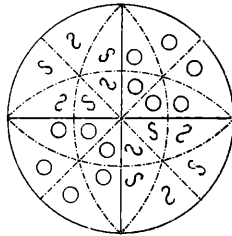
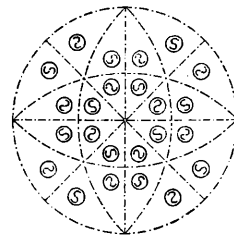


Fig. 195.



Flächen 1 3 1 3 regelmäßig angeordnet sind. Diese Punkte entsprechen somit vierzähligen Symmetrieachsen (Fig. 193). Die Positionen 2, 4 liefern eine enantiomorphe, winkelgleiche Form.

Prinzip IV erfordert, daß durch die dreizählige Axe Symmetrieebenen gelegt werden. Somit werden 1 und 2 mit spiegelbildlich gleichen Flächen besetzt. In den vierzähligen Zonenkreuzungen liegen zweizählige Deckachsen wie bei II, aber das Symmetriezentrum fehlt. Die Positionen 3, 4 liefern eine korrelate Form, die von 1, 2 kristallographisch verschieden, aber damit geometrisch gleich ist. Durch Drehung um 90° um die vierzähligen Zonenkreuzungen kommen die korrelaten Formen in übereinstimmende Lage. Wie stets bei Prinzip IV sind die dreizähligen Symmetrieachsen polar (Fig. 194).

Prinzip V entspricht der Kombination irgend zweier der Prinzipien II bis IV. Alle 4 Positionen sind gleich; Symmetrieachsen wie in III, Symmetrieebenen 3, entsprechend den Axenzonen und 6 entsprechend den Zonen erster Art (Fig. 195).

Für die Ableitung der Formen gemäß dem Parametergesetze werden für alle tesseralen Formen drei gleiche, zueinander senkrechte Axen angenommen, welche die Axen der Zonen zweiter Art sind. Das Axenverhältnis lautet $a : a : a$ oder $1 : 1 : 1$.

Die einfachen Formen aller Stufen sind geschlossene Formen. Bei der Bezeichnung derselben gehen Weiß und Miller nach der allgemeinen Norm vor.

In den Naumannschen Symbolen wird für die Grundform, deren Flächen drei gleiche Parameter entsprechen, ein O, auf das Oktaeder bezüglich, eingesetzt.

Stufe V. Tesseral-holoedrische Klasse. (Hexakisoktaedrische Klasse, Groth.)

Die Ebenen der neun Zonen sind zugleich Symmetrieebenen. Fig. 195. Man unterscheidet die sechs Symmetrieebenen erster Art von den drei Symmetrieebenen zweiter Art, welche zueinander senkrecht sind.

Die einfachen Formen sind 6-, 8-, 12-, 24-, oder 48flächig. Fig. 196.

Sechsfächig ist 1. das Hexaeder (100), mit tetrasymmetrischen Flächen, die, den drei Symmetrieebenen zweiter Art parallel, den drei Endflächenpaaren entsprechen und bei ebenmäßiger Ausbildung der Krystalle Quadrate darstellen. Fig. 197.

Fig. 196.

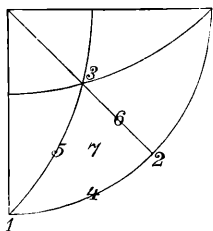


Fig. 197.

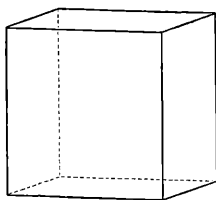
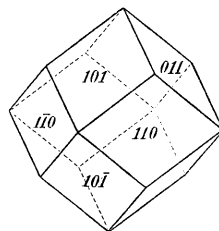


Fig. 198.

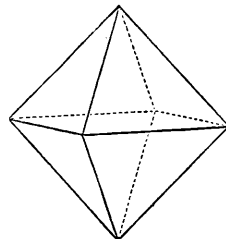


Die zwölf Kanten sind rechtwinkelig. Sie geben die Richtung der Axen des tesseralen Systemes an. Das Hexaeder ist eine häufig vorkommende Krystallform. Es tritt für sich am Gold, Bleiglanz, Fluorit, Steinsalz auf.

Zwölfflächig ist 2. das Rhombendodekaeder (110), mit disymmetrischen Flächen, die den Symmetrieebenen erster Art parallel und Prismflächen sind. Bei gleichmäßiger Ausbildung der Krystalle stellen sie Rhomben dar, deren Diagonalen sich wie in $1 : \sqrt{2}$ verhalten. Die Kanten messen 60° , z. B. die Kante $110 : 101$, dagegen sind zwei Flächen, welche in der Fig. 198 einander die Spitzen zuwenden, zueinander senkrecht, ihre Neigung beträgt also 90° , z. B. jene der Flächen $101 : 101\bar{1}$. Das Rhombendodekaeder tritt für sich am Granat, Magnetit, Rotkupfererz auf. Nach dem häufigen Auftreten am Granat wurde die Form auch Granatoeder genannt.

Achtflächig ist 3. das Oktaeder (111), mit trisymmetrischen Flächen, die zu allen drei Axen gleich geneigt sind und bei gleichmäßiger Ausbildung des Krystalles gleichseitige Dreiecke darstellen. Fig. 199. Die zwölf Kanten sind einander gleich, und zwar messen die Kanten der anliegenden Flächen $70^\circ 31' 44''$. Die Flächen, welche in der Fig. 199 die Spitzen zueinander wenden, sind unter $109^\circ 28' 16''$ gegeneinander geneigt, z. B. $111 : 1\bar{1}\bar{1}$. Das Oktaeder ist die einfachste der aus Pyramidenflächen bestehenden holoedrischen Formen. Es tritt für sich häufig am Magnetit, Spinell, Gold auf.

Fig. 199.



Vierundzwanzig monosymmetrische Flächen zeigen drei Formen:

4. das Tetrakishexaeder ($hk0$), mit Prismenflächen. Fig. 200. Die Form sieht so aus, als ob auf jede Fläche eines Würfels eine vierseitige Pyramide aufgesetzt wäre. Letztere kann etwas flacher oder etwas steiler sein. Die Kanten sind zweierlei. Die einen hat diese Form bezüglich der Richtung mit dem Hexaeder gemein, die anderen sind jene, die von der Spitze der genannten Pyramide ausgehen. Jede Fläche ist einer Axe parallel, während sie nach der Vergrößerung die beiden anderen in ungleichen Entfernungen schneidet. Die Form $(a : 3a : \infty a) = (310) = \infty O3$ ist am Fluorit oft in Kombination mit dem Würfel zu beobachten, die Form $(a : 2a : \infty a) = (210) = \infty O2$ am Gold, Kupfer u. s. w.

Fig. 200.

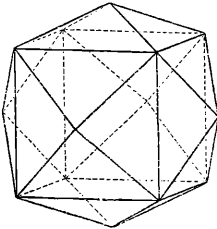


Fig. 201.

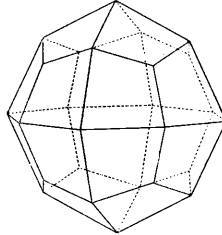
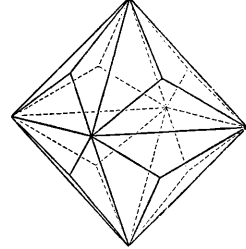


Fig. 202.



5. das Ikositetraeder (hkk), dessen Flächen bei gleichmäßiger Ausbildung die Gestalt von Deltoiden haben, also von Vierecken, an welchen je zwei benachbarte Seiten gleich sind. Fig. 201. Jede Fläche trifft eine Axe in der kleineren, die beiden anderen in einer größeren Entfernung. An der genannten Figur ist das Verhältnis beider Entfernungen $1 : 2$, wonach die Bezeichnung $(a : 2a : 2a) = (211) = 2O2$. In dem allgemeinen Symbole (hkk) ist demnach immer $h > k$. Die Form (211) kommt für sich am Granat, Analcim vor.

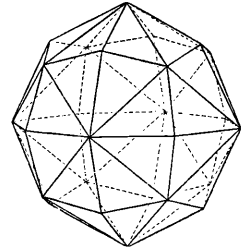
6. das Triakisoktaeder (hkk), dessen Flächen bei gleichmäßiger Ausbildung gleichschenkelige Dreiecke darstellen. Fig. 202. Die Form hat zweierlei Kanten, von welchen die einen dieselben Richtungen haben wie jene des Oktaeders, sie sieht so aus, als ob auf jede Oktaederfläche eine dreiseitige Pyramide aufgesetzt wäre. Jede Fläche trifft zwei Axen in einer kleineren, die dritte Axe in einer größeren Entfernung, und zwar ist in der beistehenden Figur das Verhältnis $1 : 2$, daher das Symbol $(a : a : 2a) = (221) = 2O$. Flächen dieser Art kommen am Diamant, Fluorit, Bleiglanz öfter vor.

Achtundvierzig asymmetrische Flächen kommen zu:

7. dem Hexakisoktaeder (hkl), dessen Flächen bei gleichförmiger Ausbildung ungleichseitige Dreiecke darstellen. Das Schema in Fig. 194 ist zugleich die Projektion eines Hexakisoktaeders. Die Form kann so aussehen, als ob auf die Flächen des Oktaeders eine sechsseitige Pyramide aufgesetzt wäre, die abwechselnd gleiche Kanten darbietet, während die an der Basis der Pyramide umlaufenden Kanten untereinander gleich sind. Die Form hat also dreierlei Kanten. Sie kann

auch Ähnlichkeit mit dem Rhombendodekaeder zeigen, auf dessen Flächen vierseitige Pyramiden aufgesetzt scheinen, und so können sich auch Ähnlichkeiten mit den anderen einfachen Formen ergeben. Die nebenstehende Fig. 203 stellt die Form dar, deren Symbol $(a : 2a : 3a) = (632) = 302$. Am Fluorit kommt die Form (421) für sich vor.

Fig. 203.



Die Bezeichnung der einzelnen Flächen der Oberseite des Hexakisoktaeders ist in der Projektion Fig. 204 angegeben. Die Signatur der Gegenflächen wird durch Multiplikation mit -1 erhalten. In der Fig. 205 sind die allgemeinen Symbole der übrigen einfachen Formen eines Oktanten aufgeführt. An der Hand der vorigen Figur lassen sich die Symbole für die Flächen der übrigen Oktanten leicht ableiten.

Fig. 204.

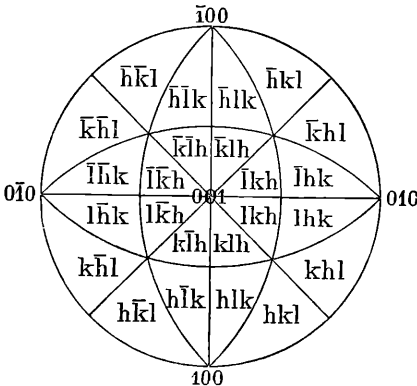
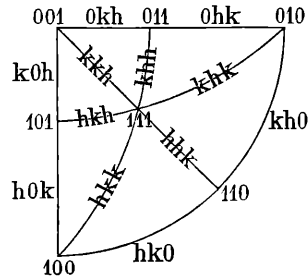


Fig. 205.



Eine Übersicht der Bezeichnungsweise gibt folgendes:

1. Hexaeder $(a : \infty a : \infty a) = (100) = \infty 0 \infty$
2. Rhombendodekaeder .. $(a : a : \infty a) = (110) = \infty 0$
3. Oktaeder..... $(a : a : a) = (111) = 0$
4. Tetrakisoktaeder..... $(a : na : \infty a) = (hk0) = \infty 0n$
5. Ikositetraeder $(a : ma : ma) = (hkk) = m 0 m$
6. Triakisoktaeder $(a : a : ma) = (h h k) = m 0$
7. Hexakisoktaeder $(a : na : ma) = (h k l) = m 0 n$

Die Zahl der Kombinationen, welche an Mineralen des tesseralen Systemes vorkommen, ist begrifflicherweise eine sehr große, doch sind die meisten derselben leicht aufzulösen. Hier mögen einige einfache Beispiele angeführt werden.

In Fig. 206 ist das Hexaeder vorwaltend, die Kanten desselben erscheinen durch die Flächen des Rhombendodekaeders, die Ecken aber durch die des Oktaeders abgestumpft. In Fig. 207 gesellt sich zum Hexaeder das Ikositetraeder (211) , welches die Ecken von den Flächen her abstumpft, übrigens leicht an dem Laufe der Kanten erkannt wird. Fig. 203 zeigt die Kombination des Hexaeders mit dem

Triakisoktaeder (221), welches die Ecken von den Kanten her abstumpft und gleichfalls am leichtesten durch den Verlauf seiner Kanten als solches erkannt werden kann. Fig. 209 bietet die Abstumpfung der Kanten des Oktaeders durch die Flächen des Rhombendodekaeders dar, während Fig. 210 die Kombination des

Fig. 206.

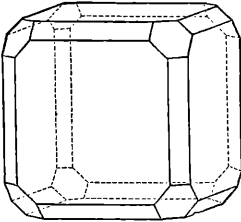


Fig. 207.

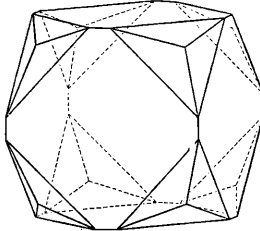


Fig. 208.

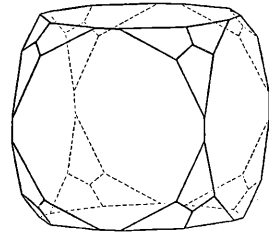


Fig. 209.

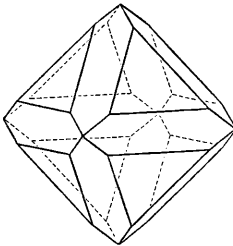


Fig. 210.

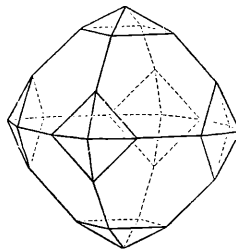
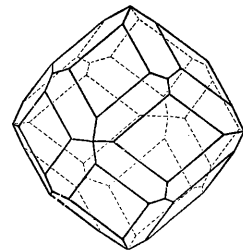


Fig. 211.



Oktaeders mit einem Ikositetraeder, und zwar mit dem gewöhnlich vorkommenden, (211) darstellt.

Fig. 211 zeigt die Abstumpfung der Kanten des Rhombendodekaeders durch ein Ikositetraeder, dessen Symbol aus den vorhandenen Zonen leicht bestimmt wird. Dieses lautet wiederum (211).

Stufe IV. Tetraedrisch-hemiedrische Klasse. (Hexakistetraedrische Klasse, Groth.)

Diese Formen bieten sechs Symmetrieebenen dar, welche den Flächen des Rhombendodekaeders parallel sind. Fig. 212. Die Oktanten sind nur abwechselnd gleich.

Die einfachen Formen sind:

1. das Hexaeder (100) mit disymmetrischen Flächen;
2. das Rhombendodekaeder (110) mit monosymmetrischen Flächen;
3. das Tetraeder (111), Fig. 213, mit vier trisymmetrischen Flächen. Die sechs Kanten sind gleich und messen $109^{\circ} 28' 16''$. Es ist die einzige Krystallform, welche durch Verzerrung nicht geändert werden kann, die Flächen bleiben immer gleichseitige Dreiecke. Die Ableitung ergibt zwei Stellungen, welche oft als positiv und negativ unterschieden werden, doch ist damit kein Gegensatz angedeutet, wohl aber zeigen sich die Tetraeder beider Stellungen bisweilen physikalisch verschieden.

Fig. 214 stellt die Kombination beider Tetraeder dar. Der physikalische Unterschied beider an Blendekristallen ist schon in Fig. 84, auf S. 41, angedeutet;

4. das Tetrakishexaeder ($hk0$) mit asymmetrischen Flächen. Die übrigen drei Formen zeigen den tetraedrischen Typus:

Fig. 212.

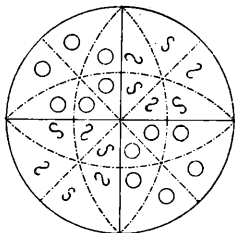


Fig. 213.

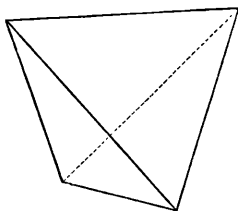
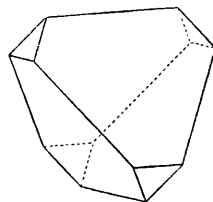


Fig. 214.



5. das Trigondodekaeder (hkk) mit zwölf monosymmetrischen Flächen, die bei gleichmäßiger Ausbildung gleichschenkelige Dreiecke darstellen. Die zu dreien zusammenlaufenden zwölf Kanten sind gleich, die übrigen sechs Kanten

Fig. 215.

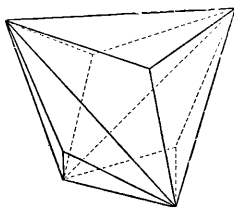


Fig. 216.

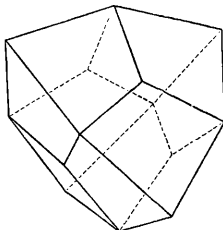
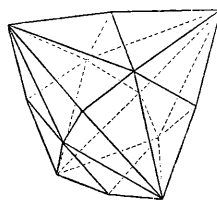


Fig. 217.



sind untereinander gleich und haben dieselben Richtungen wie jene des Tetraeders. Die Fig. 215 stellt das Trigondodekaeder (211) dar;

6. das Deltoiddodekaeder (hkk) mit zwölf monosymmetrischen Flächen, die bei gleichmäßiger Ausbildung die Form von Deltoiden haben. Zwölf Kanten

Fig. 218.

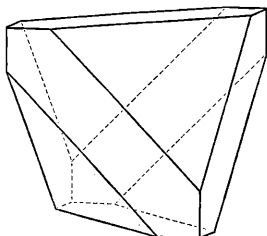


Fig. 219.

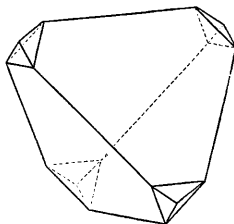
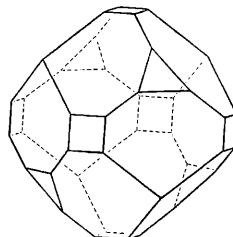


Fig. 220.



sind von der einen, zwölf von der anderen Art. Die Fig. 216 stellt das Deltoiddodekaeder (332) dar. Wenn h verhältnismäßig sehr groß wird, gewinnt die Form das Aussehen eines Rhombendodekaeders;

7. das Hexakistetraeder (hkl) mit 24 asymmetrischen Flächen und 36 Kanten von dreierlei Art. Die Fig. 217 bildet ein Hexakistetraeder ab, dessen Symbol (654) ist. Alle Formen von 3. bis 7. können in zwei Stellungen vorkommen.

In Fig. 218 wird die Abstumpfung der Kanten des Tetraeders durch die Flächen des Hexaeders, in Fig. 219 die Kombination des Tetraeders mit dem Rhombendodekaeder dargestellt. Daß hier nicht die Kombination des Tetraeders mit einem Deltoiddodekaeder vorliegt, ergibt die Beobachtung der von drei kleinen Flächen gebildeten Kanten, welche Winkeln von 60° entsprechen. Die Fig. 220 läßt die Flächen des Rhombendodekaeders und des Hexaeders leicht erkennen. Dazu treten die Flächen eines Tetraeders in Form kleiner Dreiecke.

Die größte Mannigfaltigkeit der Formen dieser Stufe zeigt das Fahlerz, das daher den Namen Tetraedrit erhalten hat.

Stufe III. Plagiedrische oder gyroedrische Klasse. (Pentagonikositetraedrische Klasse, Groth.)

Diesen Formen kommt keine Symmetrieebene zu, die Anordnung der Flächen ist hemitrop in bezug auf die Normalen der Flächen des Rhombendodekaeders. Fig. 221.

Die einfachen Formen sind:

1. das Hexaeder (100) mit tetrametrischen Flächen,
2. das Rhombendodekaeder (110) mit dimetrischen Flächen,
3. das Oktaeder (111) mit trimetrischen Flächen; die übrigen vier Formen haben asymmetrische Flächen,
4. das Tetrakishexaeder ($h k 0$),
5. das Ikositetraeder ($h k k$),
6. das Triakisoktaeder ($h h k$), endlich
7. das Pentagon-Ikositetraeder ($h k l$) mit 24 Flächen, die bei gleichförmiger Ausbildung unsymmetrische Fünfecke darstellen. Fig. 222 gibt die Formen

Fig. 221.

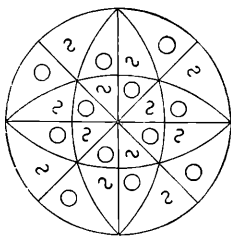
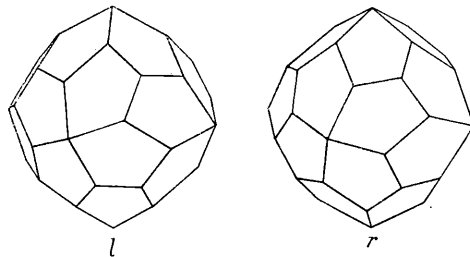


Fig. 222.



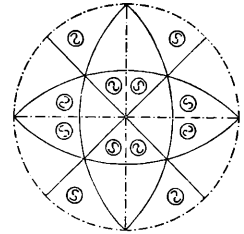
(321) und ($\overline{3\overline{2}1}$) wieder. Der Ableitung zufolge sind zwei enantiomorphe Formen von gleichen Winkeln möglich, die als rechte und linke unterschieden werden.

Das zuerst bekannt gewordene Beispiel ist der Salmiak, an dessen Krystallen von der Form (211) Tschermak auch die Flächen eines Pentagonikositetraeders (875) beobachtete, ferner der Sylvin nach Brauns.

Stufe II. Pentagonal-hemiedrische Klasse. (Dyakisdodekaedrische Klasse, Groth.)

Die hierhergehörigen Formen werden von drei zueinander senkrechten Symmetrieebenen beherrscht, welche den Hexaederflächen parallel erscheinen. Fig. 223.

Fig. 223.



Die einfachen Formen sind:

1. das Hexaeder (100) mit disymmetrischen Flächen,
2. das Rhombendodekaeder (110) mit monosymmetrischen Flächen,
3. das Oktaeder (111) mit trimetrischen Flächen,
4. das Pentagondodekaeder ($hk0$) mit 12 monosymmetrischen Flächen, die bei gleichförmiger Ausbildung monosymmetrische Fünfecke darstellen. Fig. 224. Die Kanten sind von zweierlei Art. Sechs davon sind gleich und den drei Krystallaxen

Fig. 224.

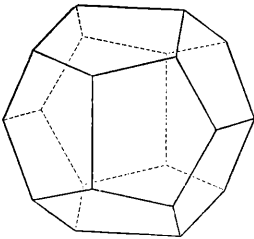


Fig. 225.

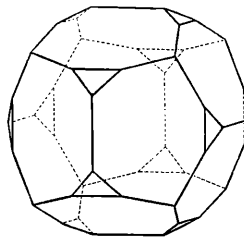
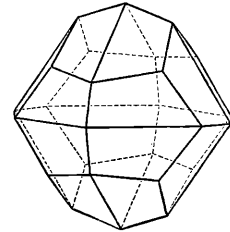


Fig. 226.



parallel, die 24 übrigen gruppieren sich zu dreien um die Normale zur Oktaederfläche. Die Ableitung führt auf zwei um 90° verschiedene Stellungen. Fig. 225 stellt die Kombination des Pentagondodekaeders (210) mit jenem in zweiter Stellung (201) dar. Die beiden Stellungen werden öfter als positiv und negativ unterschieden.

Fig. 227.

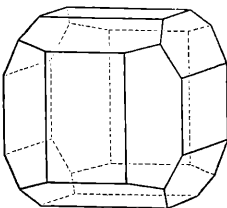


Fig. 228.

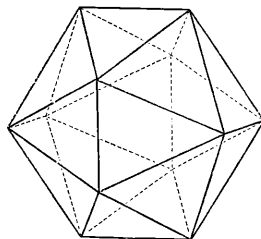
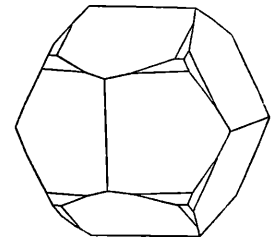


Fig. 229.



5. das Ikositetraeder (hkk) mit asymmetrischen Flächen,
6. das Triakisoktaeder (hkk) mit asymmetrischen Flächen, endlich
7. das Dyakisidodekaeder (hkl) mit 24 asymmetrischen Flächen, die bei gleichförmiger Ausbildung trapezförmige Vierecke, selten Trapeze darstellen. Fig. 226. Die Kanten sind von dreierlei Art, 24 derselben gruppieren sich zu dreien um die Normalen des Oktaeders. Die Figur stellt das Dyakisidodekaeder (321) dar. Auch hier sind zwei um 90° verschiedene Stellungen möglich. Die Fig. 223 ist zugleich die Projektion eines Dyakisidodekaeders in der ersten Stellung.

Das beste Beispiel dieser Stufe liefert der Pyrit, welcher auch den größten Formenreichtum aufweist. Von den vielen Kombinationen werden hier bloß drei aufgeführt. Fig. 227 stellt das Hexaeder in Kombination mit dem Pentagondodekaeder (210) dar, während Fig. 228 das gleiche Pentagondodekaeder mit dem Oktaeder kombiniert zeigt. Die letztere Kombination erinnert an das Ikosaeder der Geometrie, weil die Form, wie diese, von zwanzig Dreiecken eingeschlossen wird, aber beim Ikosaeder sind die Dreiecke alle gleich, hier dagegen sind sie von zweierlei Art. Die Fig. 229 gibt die Kombination des vorgenannten Pentagondodekaeders mit einem Dyakisdodekaeder, dessen Symbol (421) ist, wieder.

Stufe I. Tetartoedrische Klasse. (Tetraedrisch-pentagondodekaedrische Klasse, Groth.)

Keine Symmetrieebene. Die Formen bestehen bloß aus ident gleichen Flächen. Die Oktanten sind nur abwechselnd gleich. Fig. 230.

Die einfachen Formen sind:

1. das Hexaeder mit dimetrischen,
2. das Rhombendodekaeder mit asymmetrischen,
3. die beiden Tetraeder mit trimetrischen Flächen; alle übrigen Formen haben asymmetrische Flächen:

4. die beiden Pentagondodekaeder,
5. die beiden Trigondodekaeder,
6. die beiden Deltoiddodekaeder,

7. die tetraedrischen Pentagondodekaeder von vielerlei Art, von denen zwei enantiomorphe, nämlich (hkl) und $(\bar{h}\bar{k}l)$, in Fig. 231 dargestellt sind. Die Fig. 230 entspricht einer Projektion der ersteren. Die übrigen beiden Formen sind von diesen bloß durch die um 90° verschiedene Stellung abweichend. Die Flächen

Fig. 230.

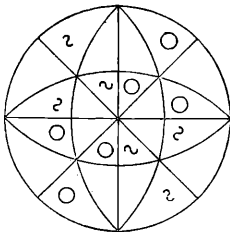
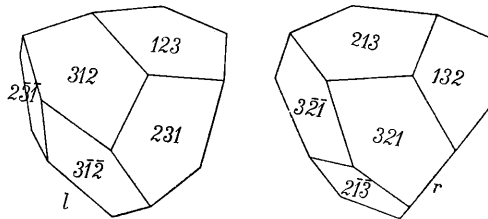


Fig. 231.



sind unsymmetrische Fünfecke, die Kanten von dreierlei Art. Die Formen dieser Stufe sind durch das Zusammenvorkommen von Tetraeder- und Pentagondodekaederflächen gekennzeichnet. Beispiele sind der Langbeinit nach Luedecke, der Ullmannit nach Miers.

40. Parallele Verwachsung. Die bisher betrachteten Krystalle sind einfache, sie bestehen aus einem einzigen Individuum. Es gibt aber auch regelmäßige Vereinigungen von Krystallen derselben Art, an denen die unterscheidbaren Teile als parallelgestellte Individuen erscheinen.

Bisweilen trägt ein Krystall an seinem Ende einen gleichgeformten zweiten Krystall in paralleler Stellung, wie der sogenannte Szepterquarz, oder der Krystall trägt an mehreren gleichen Ecken gleichgeformte Krystalle, so z. B. ein Würfel von Steinsalz, an dessen Ecken parallelgestellte Würfelchen sitzen. Manchmal ist der am Ende sitzende Krystall von anderer Form als der Träger, so der in Fig. 232 abgebildete Calcit. Hier trägt ein Skalenoeder ($21\bar{3}1$) einen kleinen Krystall von anderer Form, nämlich der Kombination ($01\bar{1}2$) und ($10\bar{1}0$), doch sind beide in krystallographisch-paralleler Stellung und beim Spalten geht die Spaltrichtung durch beide Krystalle in derselben Ebene hindurch.

In allen solchen Fällen wird man annehmen, daß beim Fortwachsen des Krystalles, infolge der Änderung der Umstände, statt einer gleichförmigen Ablagerung neuer Schichten ein paralleler Ansatz in anderer Form eingetreten sei.

Nicht selten sieht man Scharen von parallelgestellten, gleichgeformten Krystallen, die alle von einem einzigen Individuum ausgehen und dessen Fortsetzung bilden. Ein Beispiel geben Fluoritkrystalle, die ungefähr so geformt sind, wie es die Fig. 92 auf S. 52 darstellt, indem ein Oktaeder in viele kleine parallele Individuen von Würfelform ausgeht. Ein anderes Beispiel geben Calcitkrystalle von dem Umriß eines verwendeten Rhomboeders ($01\bar{1}2$), die so aussehen, als ob sie aus vielen kleinen Rhomboedern derselben Art zusammengesetzt wären, oder Skalenoeder, die äußerlich aus vielen derlei parallelgestellten Rhomboedern zusammengefügt erscheinen.

Bisweilen zeigen Krystalle bloß an einem Ende die Auflösung in kleinere parallele Individuen, wie z. B. der Quarzkrystall in Fig. 233. Mitunter sind die kleinen Individuen ungemein schmal und zahlreich, so daß Krystalle an einem Ende pinselartig in feine Säulchen aufgelöst erscheinen, wie das zuweilen an

Fig. 232.

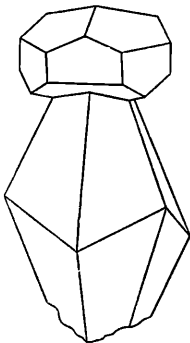


Fig. 233.

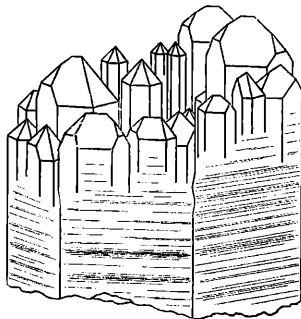
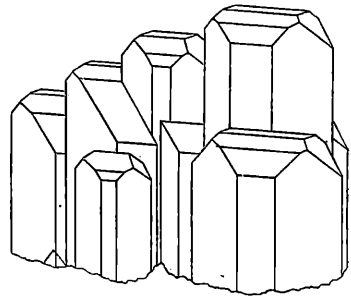


Fig. 234.



Krystallen von Diopsid, Aktinolith, Epidot vorkommt. Die in Fig. 233 dargestellte Erscheinung tritt oft an Krystallen auf, die zerbrochen wurden und deren Bruchfläche durch Fortwachsen ausgeheilt ist. An Quarzkrystallen läßt sich dies oft deutlich verfolgen.

Wenn mehrere größere Krystalle in paralleler Stellung miteinander verbunden auftreten, so nennt man die Gesamtheit derselben einen Krystallstock. Der

Krystallstock zeigt eine parallele Wiederholung derselben Krystallform, die von einem einzigen Individuum ausgeht. Es ist die parallele Fortsetzung oder Verästelung desselben Krystallindividuums. Ein Beispiel gibt die Fig. 234, welche einen Krystallstock von Baryt abbildet. Auch hier ist die parallele Stellung von einer gemeinsamen einheitlichen Unterlage, von einem einzigen Barytindividuum, abzuleiten. Auf Klüften im Granit, im Gneis findet man bisweilen Quarzkrystalle oder Orthoklaskrystalle zu Krystallstöcken vereinigt und erkennt die gemeinsame Wurzel eines jeden derselben im Gestein. Die Erscheinung wird so aufgefaßt, daß in dem fertigen Gestein Klüfte aufgerissen wurden und später ein Fortwachsen der dabei zerteilten Individuen von Quarz oder Orthoklas eingetreten ist.

41. Zwillingskrystalle. Unter diesem Ausdruck versteht man Doppelkrystalle, deren Teile sich in bestimmter regelmäßiger Stellung zueinander befinden. Die beiden Teile zeigen gleiche Ausbildung, die beiden Stellungen sind durch ein Symmetriegesetz bestimmt. Ein Beispiel ist der Zwillingskrystall von Gyps in Fig. 235, dessen Teile gleich sind und sich in symmetrischer Stellung zueinander befinden.

Alle Zwillingskrystalle lassen das Gesetz erkennen, daß beide Teile mindestens eine gleiche Fläche gemein haben und daß mit Ausnahme einer seltenen Art von Zwillingen beiden Teilen auch eine gleiche Kantenrichtung gemein ist.

Fig. 235.

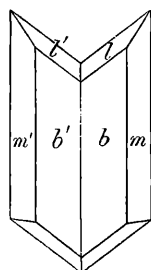
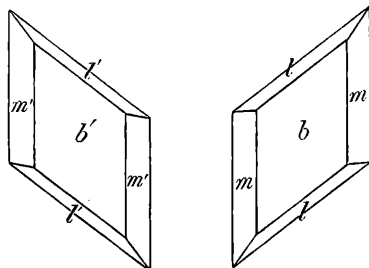


Fig. 236.



Die meisten Zwillinge zeigen also Gemeinsamkeit

mindestens einer gleichen Zone und einer darin liegenden gleichen Fläche. So der Gypszwilling in Fig. 235, an dem die Zone der *c*-Achse [*b m*] beiden Teilen gemeinschaftlich zukommt, und zugleich die Flächen *b* und *m* parallel sind.

Tritt Zwillingsbildung bei Krystallen auf, die einen höheren Grad von Symmetrie zeigen, so ist häufig die Zahl der parallelen Krystallflächen und Krystallkanten erhöht.

Viele Zwillinge sehen so aus, als ob sie aus zwei Krystallen zusammengefügt wären; doch bilden sich die Zwillinge nicht aus fertigen geformten Teilen, sondern sie entstehen in der Weise, daß schon die erste Anlage, der kleinste Krystallkeim, als Doppelkrystall erscheint. Bei der mikroskopischen Beobachtung einer Gypslösung sieht man einfache Krystalle und Zwillinge gleichzeitig nebeneinander entstehen, wobei die einen und die anderen schon im ersten Momente, als sie sichtbar werden, hier als kleinste Krystalle, dort als winzige Doppelkrystalle auftauchen. Bei der Entstehung der Zwillinge ist also kein neues Prinzip der Formbildung anzunehmen, sondern die Form derselben gehorcht denselben Gesetzen, die für die Wiederholung von Flächenkomplexen an einfachen Krystallen maßgebend sind.

Diese Gesetze sind dieselben, welche den schon früher angeführten Stufen der einfachen Symmetrie entsprechen [25]. Die erste Stufe gibt keine Wiederholung an und bleibt hier außer Betracht. Stufe II bezieht sich darauf, daß sich eine Fläche in der entgegengesetzten Richtung ihrer Normale wiederholt, III darauf, daß eine Fläche oder ein Flächenkomplex in hemitroper Lage wiederkehrt, IV daß zu einer Fläche oder einem Flächenkomplex sich ein spiegelbildlich gleicher an der zweiten Seite einer Symmetrieebene wiederholt, V auf einer Kombination der Regeln II bis IV. Diese letzte Stufe gibt keine einfache Wiederholung an und kann erst bei mehrfacher Zwillingsbildung in Betracht kommen. Demnach sind die drei Gesetze II, III, IV maßgebend, indem statt Fläche und Flächenkomplex der Teilkristall des Zwillings eingesetzt wird.

Zwillinge der ersten Art. Die Teilkristalle zeigen Stellungen, welche einer Richtung und Gegenrichtung entsprechen. Die Zonen beider sind gemeinsam. Diese Regel kann nur bei solchen Krystallen vorkommen, deren einfache Krystalle kein Symmetriezentrum haben, d. i. Krystallen der Stufen I, III und IV. Ein Beispiel ist der Zwillingskrystall von Kieszinkerz Fig. 237, dessen Teile der Stufe IV des rhombischen Systems angehören. Den Flächen des oberen Teilkristalles sind die des unteren parallel, alle Zonen sind gemeinsam. Der Normalen auf c des einen ist jene auf c des anderen entgegengesetzt.

Zwillinge der zweiten Art. Hemitrope Zwillinge. Die Teilkristalle befinden sich in solchen Stellungen, daß die eine von der anderen durch Drehung um 180° abgeleitet werden kann. Die Lage der Drehungsaxe ist noch genauer zu bestimmen. Hierher gehört der schon genannte Gypszwilling. Fig. 235. Die Teilkristalle zeigen die in der folgenden Fig. 236 angegebenen Stellungen. Denkt

Fig. 237.

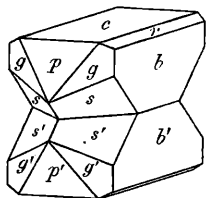


Fig. 238.

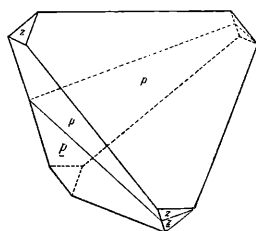


Fig. 239.

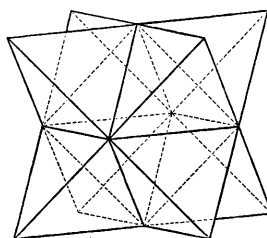
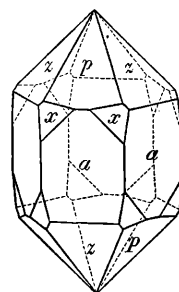


Fig. 240.



man sich die eine Form um eine horizontale Axe um 180° gedreht, so erhält man die Stellung der zweiten.

Zwillinge der dritten Art. Die Teilkristalle liegen symmetrisch zu einer Krystallfläche. Der Kupferkieszwilling (Fig. 238) zeigt die Kombination zweier Doppelsphenoiden p und z in Stellungen, welche symmetrisch sind zu der Fläche der verwendeten Pyramide (101). Auch diese Zwillinge können nur bei nicht holoedrischen Krystallen ohne Symmetriezentrum vorkommen.

Zwillinge höher symmetrischer Krystalle können häufig unter mehrere der unterschiedenen Zwillingsgesetze eingereiht werden. So läßt sich die Stellung der beiden nach dem Zwillingsgesetze erster Art verbundenen Kieselzinkerzkrystalle auch durch Hemitropie nach der krystallographischen a - oder b -Axe sowie als Zwillingstellung symmetrisch nach der Endfläche beschreiben.

Der in Fig. 239 abgebildete Zwilling zweier Tetraeder kann nach allen drei Arten erläutert werden. Er erscheint als Zwilling erster Art, insofern zu jeder Tetraederfläche des einen Teilkristalles als Gegenfläche eine Tetraederfläche des anderen parallel gegenüberliegt. Als hemitroper Zwilling aufgefaßt erscheinen die Tetraederkanten als Hemitropieaxen. Endlich kann der Zwilling auch dadurch beschrieben werden, daß die beiden Tetraeder symmetrisch zu den Würfelflächen gestellt sind.

Gemäß der Herleitung des Tetraeders als Hemiedrie des Oktaeders erschien in einem solchen Zwilling sozusagen ein Wiederaufbau der holoedrischen Form aus den Hemiedern, daher wurden derartige Zwillinge von Haidinger als Ergänzungszwillinge bezeichnet.

Der Quarzzwilling in Fig. 240 gehört zu denjenigen, die nicht sogleich ihre Zwillingnatur erkennen lassen, denn die Form sieht so aus, als ob dieselbe holoedrisch wäre. Der Vergleich mit den auf S. 73 gezeichneten Figuren ergibt jedoch die Doppelnatur dieser Bildungen, deren Teilkristalle einem Rechts- und einem Linksquarz entsprechen. Durch Hemitropie läßt sich dieser Zwilling nicht erläutern, da keine Drehung einen Rechts- in einen Linksquarz überführen kann. Man erhält aber die Stellung der zwei Teilkristalle nach der ersten Regel, indem der Flächennormale jeder Trapezoederfläche x des einen Teilkristalles die der korrelaten des anderen Teilkristalles gegenübersteht. Oder man bemerkt, daß nach der dritten Regel der eine Teilkristall spiegelbildlich dem anderen entspricht in bezug auf jede der Flächen des verwendeten Prismas ($11\bar{2}0$).

Wenn Teilkristalle mit Symmetriezentrum nach Regel drei symmetrisch zu einer Krystallfläche gelagert sind, so kann die Stellung auch durch Hemitropie um die Normale der Krystallfläche beschrieben werden, denn nach [25] ruft Symmetriezentrum und Symmetrieebene automatisch eine zweizählige Symmetrieaxe senkrecht zur Symmetrieebene hervor: dadurch wird die Zahl der hemitropen Zwillingsgesetze vergrößert. Aber auch abgesehen davon, sind die hemitropen Zwillingbildungen am häufigsten. Sie wurden daher auch zuerst bemerkt und von Haüy wurde der Ausdruck Hemitropie für Zwillingkrystalle überhaupt gebraucht.

In den hemitropen Zwillingkrystallen wird die Drehungsaxe oder Axe der Hemitropie als Zwillingssaxe bezeichnet und die dazu senkrechte Ebene als Zwillingsebene. An dem Gypszwilling in Fig. 235 liegt die Zwillingssaxe horizontal und die dazu senkrechte Ebene, welche im Bilde zu einer Linie verschmälert erscheint, ist die Querfläche 100, die an den Teilkristallen nicht ausgebildet erscheint. Die Zwillingsebene kann demnach einer Krystallfläche parallel sein, doch ist dies nicht immer der Fall.

In dem Gypszwilling Fig. 234 berühren sich die Teilkristalle an der Zwillingsebene, und diese Art der Abgrenzung ist in den hemitropen Zwillingen eine sehr

gewöhnliche, oft aber ist die Berührungsebene zur Zwillingsebene senkrecht, wofür später noch Beispiele angeführt werden, oder die Teilkristalle berühren sich sowohl in der Zwillingsebene als in einer dazu senkrechten Ebene, was in Durchkreuzungszwillingen vorkommen kann, so in dem Gypszwillinge Fig. 250. Nicht selten tritt der Fall ein, daß keine Berührungsebene ausgesprochen erscheint, die Teilkristalle durch unebene Flächen gegeneinander abgegrenzt erscheinen, wofür der Quarz in Fig. 276 und 277 ein Beispiel.

Wenn die Teilkristalle parallelfächig sind, also einer der Stufen II oder V angehören, und sich an der Zwillingsebene berühren, so erscheint auch der hemitrope Zwilling, im ganzen betrachtet, als ein symmetrisches Gebilde und die Zwillingsebene als Symmetrieebene. In dem Gypszwillinge sind die Teile symmetrisch zu 100 als Symmetrieebene gelagert. Hemitrope Zwillinge, deren Teilkristalle den Stufen I, III oder IV angehören, sind nicht symmetrisch zur Zwillingsebene.

In den hemitropen Zwillingbildungen kann die Zwillingssaxe vier verschiedene Lagen einnehmen, wonach vier Zwillingsgesetze unterschieden werden.

1. Flächennormalgesetz. Die Zwillingssaxe ist normal zu einer Krystallfläche, daher die Zwillingsebene parallel zu einer vorhandenen oder möglichen Fläche. Alle Kanten in dieser gemeinsamen Krystallfläche sind in beiden Teilkristallen parallel. Ein Beispiel ist der mehrfach genannte Gypszwilling.

2. Zonenaxengesetz. Die Zwillingssaxe ist eine Zonenaxe, demnach die Zwillingsebene senkrecht zu jener Zone. Da eine Zonenaxe die Richtung einer Kante angibt, so lautet das Gesetz auch: Zwillingssaxe parallel einer Kante oder Zwillingsebene senkrecht zu einer Kante. Die Zwillingsebene ist in diesem Falle keine Krystallfläche. Der idealisierte Anorthitzwilling Fig. 241 zeigt die

Fig. 241.

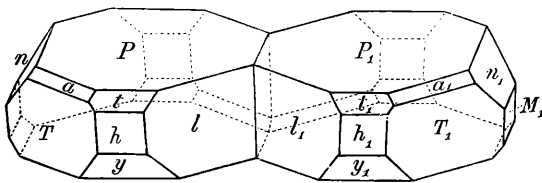


Fig. 242.

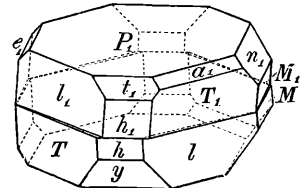


Fig. 243.

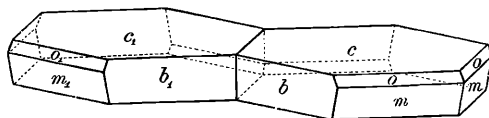
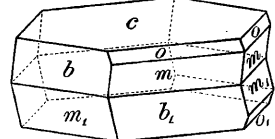


Fig. 244.



Zwillingsebene, an der sich auch die triklinen Teilkristalle berühren, senkrecht zu den Kanten der Flächen P, t, h, y . Die Zwillingssaxe ist also die Axe der von diesen Flächen gebildeten Zone. Derlei Zwillinge bieten Gemeinsamkeit einer Zone dar und Parallelismus aller in dieser Zone liegenden Flächen.

3. Kantennormalgesetz. Die Zwillingssaxe ist in einer Krystallfläche senkrecht zu einer in dieser liegenden Kante, anders gesagt: die Zwillingsebene ist

senkrecht zu einer Krystallfläche und parallel zu einer in dieser liegenden Kante. In dem Glimmerzwilling Fig. 243 berühren sich die monoklinen Teilkristalle in der Zwillingssebene, die senkrecht zu der Endfläche c und parallel zu der Kante $c : o$ liegt. Solche Zwillinge zeigen ebenfalls die Gemeinsamkeit einer Zone, hier der Zone co , aber nur einer einzigen darin liegenden Fläche, hier c .

Fig. 245.

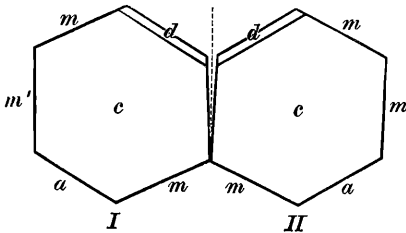


Fig. 246.

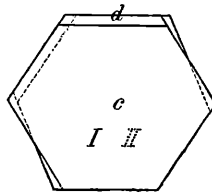
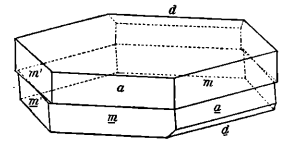


Fig. 247.



4. Mediangesetz. Die Zwillingsexe ist in einer Fläche gegen zwei Kanten derselben gleich geneigt, demnach ist die Zwillingssebene senkrecht zu einer Fläche und bildet mit zwei in dieser liegenden Kanten gleiche Winkel. Fig. 245 zeigt die Stellung zweier monokliner Teilkristalle symmetrisch zu einer Ebene, die hier durch eine punktierte Linie angedeutet und die zu den Flächen c senkrecht ist. Diese Ebene ist gegen die Kanten $c : a$ und $c : m$ desselben Krystalles gleich geneigt. Eine im Bilde vertikale Halbierungslinie des Winkels jener beiden Kanten ist demnach der Zwillingssebene parallel. Die Kante $c : m$ des einen Teilkristalles ist parallel der Kante $c : a$ der anderen und die Kante $c : a$ des einen parallel $c : m$ des anderen. Diese Kanten sind also am Zwillinge wechselseitig parallel. Die Zwillinge dieser Art sind die einzigen, die nicht Gemeinsamkeit derselben Zone, vielmehr nur wechselseitiges Zusammenfallen zweier Zonen darbieten. Sie sind selten und bisher von Brögger bloß am Hydrargillit nachgewiesen. Fig. 246 stellt einen Hydrargillitzwilling, auf c gesehen, dar.

Von den hier angeführten Arten hemitroper Zwillinge sind die nach dem Flächennormalengesetz und nach dem Zonenaxengesetz weitaus am häufigsten.

Zur bequemeren Übersicht der Winkel eines Zwillingskrystalles dienen Projektionen wie jene in Fig. 248, welche sich auf den S. 95 abgebildeten Gypszwilling bezieht, oder Fig. 249, welche eine Projektion des vorhergenannten Anorthitzwillinges ist.

Fig. 248.

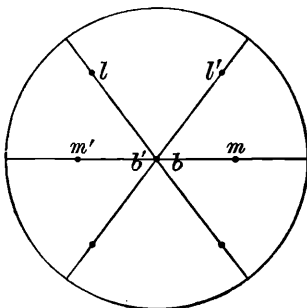


Fig. 249.

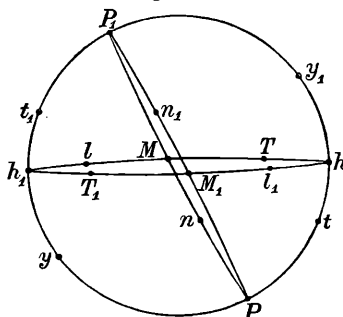


Fig. 249, welche eine Projektion des vorhergenannten Anorthitzwillinges ist. Hier ist die den Teilkristallen gemeinsame Zone in den Grundkreis gelegt.

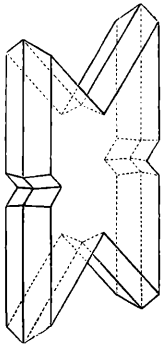
Ab und zu kommen regelmäßige Verwachsungen von Krystallen vor, die

nicht unter die hier angeführten Gesetze fallen (Heterozwillinge). Die Verwachungsregel ist dann weniger einfach; auch in diesen verwickelteren Fällen liegen einfache Flächen der Teilkristalle parallel und es fallen gewisse Zonenrichtungen, die nicht gleichartig sein müssen, zusammen.

G. Tschermak, in Zeitschrift für Kryst. Bd. 39, S. 434; O. Mügge, in Fortschritte der Mineralogie, Krystallographie und Petrographie, Bd. 1, 1911; V. Goldschmidt, Zeitschr. f. Krystallographie, Bd. 43.

42. Ausbildung der Zwillingkristalle. Man erkennt die Zwillingkristalle oft an den einspringenden Winkeln an der Grenze der Teilkristalle; doch gibt es Zwillinge, die kein solches Merkmal an sich tragen, wie einheitliche Kristalle aussehen und ihre Zwillingnatur erst bei genauer Prüfung offenbaren. Wenn an den Grenzen der Teilkristalle die Flächen beider in eine Ebene fallen, so wird keine Grenze bemerkbar sein, wenn die Flächen vollkommen glatt sind. Da jedoch auf den Flächen häufig eine feine Riefung erkennbar ist, und die Riefen an der Grenze zusammenstoßen, so tritt letztere als Zwillingnaht hervor.

Fig. 250.



An den Zwillingkristallen, die symmetrisch nach einer Kristallfläche oder hemitrop nach der Normalen einer Kristallfläche sind (Flächennormalgesetz), erscheinen die Teilkristalle oft durch jene Zwillingsebene geschieden, und jeder Teil sieht wie ein halber Kristall aus (Gypszwilling, Fig. 235). Bei rundum ausgebildeten Zwillingen dieser Art findet aber öfter daneben auch eine Abgrenzung an einer zur Zwillingsebene senkrechten Fläche statt, indem jeder Teil über die Zwillingsebene hinauswächst. So bildet sich eine Durchkreuzung, wonach jeder Teil eine vollständige Ausbildung zeigt. Fig. 250 gibt einen solchen Zwillingkristall von Gyps wieder. Man unterscheidet demnach Berührungs- und Durchkreuzungszwillinge.

Manche der letzteren erscheinen als wahre Durchwachungs-zwillinge, in denen beide Teile so vollständig durcheinandergewachsen sind, daß nach außen eine scheinbar einfache Form entsteht. Siehe Quarz Fig. 240 und 276.

Bei Zwillingen nach dem Zonenaxengesetz, dem Kantennormalengesetz und dem Mediangesetz spielt die Zwillingsebene senkrecht zur Axe der Hemitropie in der Regel keine Rolle bei der Abgrenzung der Teilkristalle. Die Anorthitzwillinge nach dem Zonenaxengesetze zeigen nicht jene Ausbildung, welche die Fig. 241 angibt, sondern sie entsprechen dem Bilde Fig. 242, in dem die Teilkristalle nicht an der Zwillingsebene, sondern an einer dazu senkrechten Fläche sich berühren, die der gemeinsamen Zone angehört, die aber keiner Kristallfläche parallel zu sein braucht. Beim Glimmer kommt die in Fig. 243 gezeichnete Ausbildung der Zwillinge nach dem Kantennormalgesetze seltener vor, als jene in Fig. 244 dargestellte, nach welcher die Berührung der Teilkristalle in der gemeinsamen Fläche c stattfindet. Das gleiche gilt vom Hydrargillit, dessen Zwillinge nach dem Mediangesetze meistens die in Fig. 247 dargestellte Ausbildung darbieten.

Zwillingkristalle, die zugleich mit einfachen Kristallen gewachsen sind, zeigen nicht selten auffallende Veränderungen in der Ausbildung der Kristallformen.

Skalenoeder von Kalkspat (s. Fig. 132, S. 67) kommen nach drei Zwillingsgesetzen verzwillingt vor, indem entweder das Rhomboeder ($10\bar{1}1$) oder das stumpfe verwendete Rhomboeder ($01\bar{1}2$) oder das steile verwendete Rhomboeder ($02\bar{2}1$) als Zwillingsebene auftritt. Die Figuren 251, 252 und 253 zeigen die gewöhnliche Ausbildung dieser drei Zwillinge. Die schraffierte Partie deutet die Form an, die auf-

Fig. 251.

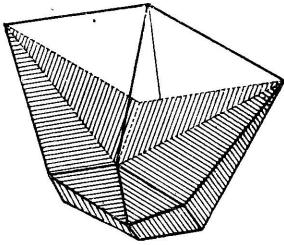


Fig. 252.

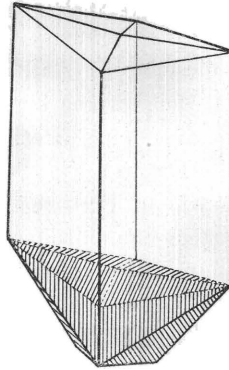
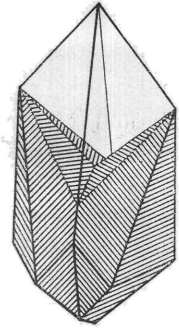


Fig. 253.



treten würde, wenn die Wachstumsgeschwindigkeit aller Skalenoederflächen dieselbe bliebe wie beim einfachen Krystall. Die tatsächlich vorhandene Form läßt eine Vermehrung des Wachstums in jener Richtung erkennen, welche den beiden Teilkristallen des Zwillings gemeinsam und in den drei Figuren vertikal gestellt ist, nämlich nach der Durchschnittslinie der beiden Teilkristallen gemeinsamen Symmetrieebene mit der jeweiligen Zwillingsebene.

Wenn die Zwillingsebene mehrere solche gemeinsame Kantenrichtungen enthält, wie z. B. in dem Zwilling des Magnetit nach der Oktaederfläche (s. Fig. 285, S. 109),

wo die drei Kantenrichtungen der Oktaederfläche gemeinsame Richtungen der Teilkristalle darstellen, so erscheinen die Zwillinge häufig nach der Zwillingsebene abgeplattet.

Fig. 254 a.

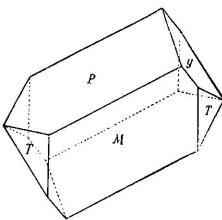
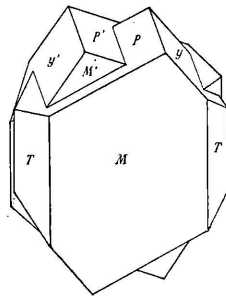


Fig. 254 b.



Hemitrope Zwillinge nach dem Zonenaxengesetz erscheinen häufig nach der Zwillingsebene gestreckt. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der typischen Form einfacher Orthoklas-kristalle Fig. 254 a und der unter gleichen Verhältnissen gewachsenen

Zwillinge nach der *c*-Axe Fig. 254 b. Nicht selten ist mit dieser Änderung der Gestalt auch das Auftreten neuer Krystallflächen verbunden, die den einfachen Krystallen fehlen.

43. Außer den eigentlichen Zwillingen mit zwei Teilkristallen gibt es auch solche Bildungen, die eine zwillingsartige Vereinigung mehrerer Teilkristalle darbieten. Die fortgesetzte Zwillingsbildung ist von zweierlei Art. Im ersten Falle erscheint mit dem zweiten Teilkristall ein dritter nach dem gleichen Zwillingsgesetze verbunden, ohne jedoch dem ersten Individuum parallel zu sein, und es entsteht ein Drilling. Die Vereinigung von vier Teilkristallen nach dem gleichen Zwillingsgesetze und ohne Parallelismus der Individuen liefert einen Vierling u. s. f. Fig. 281 zeigt einen Sechsling von Rutil. Man kann derlei unparallele Fortsetzungen derselben Zwillingsbildung als Wendezwillinge bezeichnen. Die Erscheinung beruht darauf, daß bei der Fortsetzung nicht dieselbe Kristallfläche Zwillingsebene bleibt, sondern eine andere, welche aber mit der vorigen kristallographisch gleichwertig ist; z. B. 110 und $\bar{1}\bar{1}0$ im rhombischen Systeme. Derlei Fortsetzungen liefern öfter fächerförmige oder radförmige Bildungen, wie Fig. 269, oder symmetrische Gruppierungen um einen zentralen Kristall wie in Fig. 283.

Im zweiten Falle setzt sich an das zweite Individuum nach demselben Gesetze ein drittes, dessen Stellung aber dieselbe ist wie die des ersten Individuums, ferner ein viertes Individuum, dessen Stellung dieselbe wie die des zweiten, ein fünftes, dessen Stellung dieselbe wie die des ersten und dritten u. s. f. Fig. 257, Albit. Wenn bei dieser Art der Zwillingsbildung die Zusammensetzungsflächen einander parallel sind, so kann die Wiederholung der Individuen in abwechselnder Stellung vielfach stattfinden, wodurch polysynthetische Zwillinge oder Zwillingsstöcke gebildet werden, die an den Seiten eine Wiederholung ein- und ausspringender Winkel darbieten. Werden dabei die einzelnen Individuen blattartig dünn und endlich ungemein dünn, so werden die ein- und ausspringenden Kanten schließlich nur als feine Riefen erscheinen, welche Erscheinung als Zwillingsstreifung bezeichnet wird, während sie besser Zwillingsriefung zu nennen ist. Bei den Zwillingsstöcken ist, wie man leicht erkennt, die Fortsetzung derartig, daß stets genau dieselbe Kristallfläche als Zwillingsebene fungiert, die Fortsetzung also eine parallele ist.

44. Beispiele. In jedem der Kristallsysteme gibt es Fälle von Zwillingsbildungen, und zwar sowohl von solchen, die nur Doppelkristalle sind, als auch von mehrfach zusammengesetzten Zwillingen.

Unter den triklin kristallisierten Mineralen zeigt der Albit fast immer eine Zwillingsbildung nach dem Gesetze: Zwillingsebene die Längsfläche $M = (010)$. Die Verwachsung erfolgt an derselben Fläche. Die Fig. 255 stellt einen einfachen Kristall dar, an welchem die Endfläche P , die Längsfläche M , ferner die Prismenflächen T , l und x zu sehen sind. Der Zwillingskristall Fig. 256 zeigt infolge der Verkürzung vorne bloß die Fläche T des einen und des anderen Individuums, unterhalb treffen die Flächen x und x_1 in einer ausspringenden Kante, oberhalb aber P und P_1 in einer einspringenden Kante zusammen; hinten erscheinen wieder, infolge der Verkürzung, nur die Flächen l der beiden Individuen.

Diese Zwillingsbildung wiederholt sich aber und liefert Zwillingsstöcke, in welchen oft sehr viele, äußerst dünne Individuen in abwechselnder Stellung vorhanden sind. Fig. 257 gibt eine Verwachsung dreier Individuen an, das dritte

hat dieselbe Stellung wie das erste. Weil aber jetzt der Raum nach rechts der Ausbildung freien Spielraum läßt, so erscheint am dritten Individuum die Fläche l , während am ersten bloß T erschien. Oberhalb und unterhalb zeigen sich jetzt aus- und einspringende Winkel durch das Zusammentreffen der Flächen P und x von seiten der einzelnen Individuen. Denkt man sich diese Bildung fortgesetzt, so erhält man blasebalgähnliche Anreihungen. Bei der ungemein geringen Dicke der

Fig. 255.

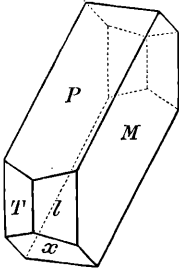


Fig. 256.

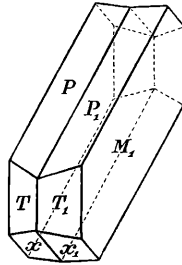
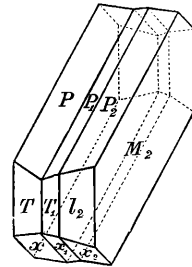


Fig. 257.



einzelnen Individuen zeigen aber die Zwillingstöcke des Albits gewöhnlich nur feine Riefen, parallel den Kanten $P:M$ und $M:x$. Weil in dem monoklinen Systeme die Fläche M die Symmetrieebene ist, so liefert eine symmetrische Verwachsung parallel M hier keine Zwillinge. Dieses Zwillingsgesetz ist deshalb nur im triklinen Systeme möglich, und daher liefern bloß die triklinen Feldspate solche Zwillingstöcke. Daraus ergibt sich ein wichtiges Kennzeichen dieser Feldspate. Weil bei denselben das ebengenannte Zwillingsgesetz herrscht, so kann man aus jener Riefung auf die triklinen Feldspate schließen.

Noch ein anderes Zwillingsgesetz macht sich bei vielen Gliedern aus der Reihe der triklinen Feldspate geltend. Es lautet dahin, daß die Zwillingssaxe die b -Axe ist, das ist die Axe der Zone $Pthy$, deren Flächen in beiden Teilkristallen zusammenfallen; die Zwillingsebene ist senkrecht zu dieser Zone. Diesem Gesetze folgen unter anderen auch viele Zwillinge des Anorthits. Fig. 258 zeigt zwei Krystalle von Anorthit, deren jeder von den Flächen P, M, T, l , außerdem von den Querprismenpaaren $t = (201)$, $y = (20\bar{1})$ und der Querfläche $h = 100$, endlich

Fig. 258.

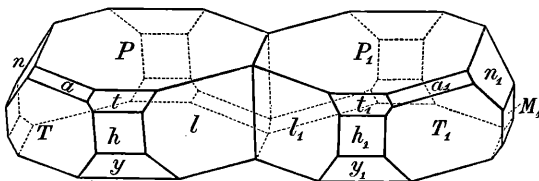
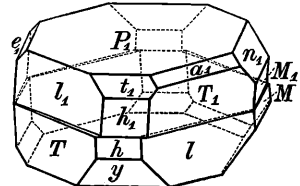


Fig. 259.



von einem Längsprismenpaar $n = (0\bar{2}1)$ begrenzt ist, in der symmetrischen Stellung zu der Zwillingsebene. Demnach erscheinen vorn auch die Flächen T der beiden Teilkristalle entfernt, die Flächen l hingegen nahe an der Zwillingsebene und überhaupt alle die Flächen symmetrisch gegen die letztere Ebene

gelagert. Die Zwillingkrystalle des Anorthits, welche diesem Gesetze folgen, sind aber in der Weise ausgebildet, daß die beiden Teilkristalle nicht zu beiden Seiten der Zwillingsebene lagern, die hier überhaupt keine wesentliche Bedeutung hat, sondern ihre gegenseitige Stellung beibehaltend, übereinandergelagert erscheinen, wie dieses Fig. 259 darstellt. Hier ist also die Berührungsebene eine zur Zwillingssaxe parallele Fläche und die beiden Individuen grenzen sich so ab, wie es das Wachstum der Krystalle erfordert. Die Flächen beider Individuen treffen also in Kanten zusammen, deren Lauf durch das Zusammentreffen der Flächen T und l_1 , T_1 und l etc. verursacht wird, während in der Figur diese Flächen gegeneinander abgesetzt erscheinen. Der Zwilling ist, wie leicht ersichtlich, ein solcher, dessen richtige Auffassung keine leichte Aufgabe war. Erst Gerhard vom Rath gelang es, das Zwillingsgesetz aufzufinden und diese merkwürdige Zwillingbildung zu enträtseln.

In dem monoklinen Systeme herrscht sehr häufig ein Zwillingsgesetz, welches eine zur Symmetrieebene senkrechte Fläche als Zwillingfläche angibt. An dem Gypszwillinge, Fig. 234, auf S. 95, ist es die Querfläche 100, welche zugleich Zwilling- und Verwachsungsebene ist. Die Längsflächen b der beiden Individuen fallen am Zwilling in dieselbe Ebene, doch macht sich die Grenze beider Individuen öfter durch eine Zwillingnaht bemerklich. Die Zone lm bleibt durch den ganzen Zwilling erhalten. Die Pyramidenflächen l bilden ein- und ausspringende Kanten. Durchwachsungszwillinge, wie Fig. 250, kommen auch öfter vor.

Der Orthoklas oder monokline Feldspat liefert oft Zwillinge, welche zu den Durchwachsungszwillingen gehören. Die Fig. 261 stellt einen dieser Zwillinge dar, welche nach einem der Fundorte häufig Karlsbader Zwillinge genannt werden. Er entspricht dem zuvorgenannten Gypszwillinge. Die beiden Krystallindividuen erscheinen aber gleichsam ineinandergeschoben und ihre Grenze ist eine zackig verlaufende Linie. Die Flächen des einen Teilkristalles sind durch gestrichelte Buchstaben von

denen des anderen unterschieden. Man könnte hier, wie beim Gyps, die Querfläche 100 als Zwillingsebene betrachten (Flächennormalgesetz), doch ist klar, daß ebensogut die Axe der Zone lM als Zwillingssaxe angenommen werden kann (Zonenaxengesetz). Es hängt also hier vom Belieben ab, das Zwillingsgesetz in dieser oder in jener Weise auszudrücken, doch wird die Formulierung als Zonenaxengesetz der Art der Verwachsung besser gerecht, besonders wenn man die bei diesen Zwillingen häufige Verlängerung in der Richtung der gemeinsamen Zonenaxe berücksichtigt [42].

Andere Orthoklaszwillinge folgen dem Gesetze: Zwillingsebene die Endfläche $P = 001$. In Fig. 260 ist ein solcher Fall dargestellt. Die Verwachsung findet an der Zwillingsebene statt. Die Krystallflächen erhalten die Bezeichnung $P = (001)$, $M = (010)$, $l = (110)$, $y = (20\bar{1})$, $n = (021)$, $o = (11\bar{1})$.

Fig. 260.

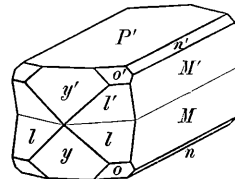
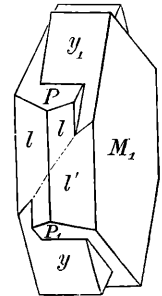


Fig. 261.



Die Glimmer bieten häufig Zwillinge dar, welche in zweierlei Ausbildung auftreten. Die Zwillingsebene ist senkrecht zu der Endfläche c und parallel der Kante $c:m$ (Kantennormalgesetz). Die Fig. 263 zeigt einen Zwilling, welcher nach dieser Regel gebildet ist. Die beiden Teilkristalle befinden sich in den Stellungen, welche in Fig. 262 angegeben sind. Im Zwilling erkennt man die Zwillingsebene, an welcher zugleich die Verwachsung stattfindet, an einer Zwillingснаht. In der

Fig. 262.

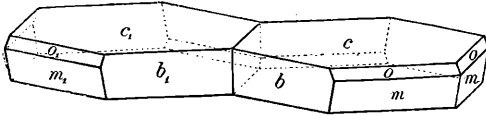
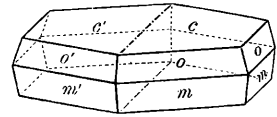


Fig. 263.



Zeichnung ist die Grenze strichpunktirt. Die beiden Teilkristalle sind im Zwillinge verkürzt und mit gleicher Größe ausgebildet. In der Mehrzahl der Fälle sind aber die Glimmerzwillinge anders gebaut, indem die beiden Individuen übereinander gelagert erscheinen. Fig. 264 gibt eine Vorstellung von einem solchen Zwillinge. Die beiden Teilkristalle, von welchen der früher rechts gelegene jetzt oben liegt, berühren sich mit den c -Flächen und bilden an den Seiten ein- und ausspringende Kanten. Der eine erscheint gegen den anderen um 120° gedreht. Oft lagern viele Individuen in abwechselnden Zwillingstellungen übereinander und bilden Säulchen mit vielen horizontalen Riefen. Die beschriebene Zwillingbildung läßt sich aber auch auf die Gemeinschaftlichkeit der Endfläche c und den wechselweisen Parallelismus der Kanten $c:b$ und $c:m$ zurückführen (Mediangesetz). Endlich läßt sich diese Zwillingverwachsung zufolge der besonderen Winkelverhältnisse des Glimmers auch noch als ein Zonenaxengesetz darstellen. (Zwillingaxe die Axe der Zone $[130]$, welche nur unmerklich von der Kantennormalen auf der Kante $c:m$ abweicht.)

Im rhombischen Systeme sind die Zwillingsebenen meistens Prismflächen, weil die Endflächen hier sämtlich den Hauptsehnitten parallel sind und die

Fig. 264.

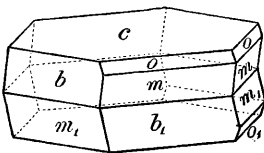


Fig. 265.

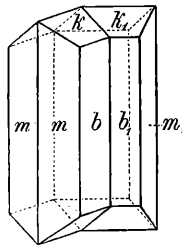


Fig. 266.

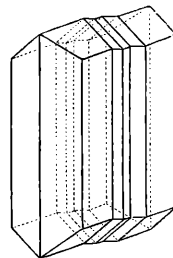
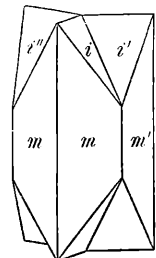


Fig. 267.



Fläche 111 als Zwillingfläche in den Krystallsystemen von geringeren Symmetriegraden seltener vorkommt. Ein Beispiel ist der Zwillingkristall des Aragonits, Fig. 265, welcher nach dem Gesetze: Zwillingsebene die Prismfläche 110 gebildet ist. Die Individuen sind auch an dieser Fläche miteinander verbunden.

Wenn sich, wie es nicht selten der Fall ist, die Zwillingsbildung wiederholt, so tritt entweder der Fall ein, daß die Wiederholung an jedem folgenden Individuum an derselben Fläche geschieht, z. B. an der Fläche 110 , wie in Fig. 266; dann sind immer die abwechselnden Individuen, also 1, 3, 5, einander parallel und es entsteht ein Zwillingsstock, oder aber die Fortsetzung der Zwillingsbildung geschieht in der Art, daß ein Individuum mit einem zweiten an der Fläche $1\bar{1}0$, mit einem dritten aber an der Fläche 110 verbunden ist, und es entsteht ein Wende-

Fig. 268.

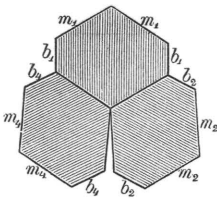


Fig. 269.

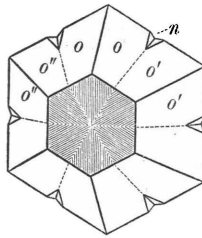
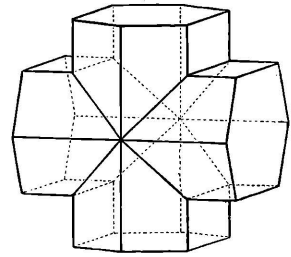


Fig. 270.



zwilling. Obwohl also das Zwillingsgesetz das nämliche, erzeugen sich doch auf solche Weise andere Verwachsungen, nämlich Drillinge und Vierlinge, wie z. B. der Drilling in Fig. 267.

In Fig. 268, welche einen Drilling von oben besehen darstellt und die Endflächen der Individuen parallel b gerieft zeigt, lagern drei Individuen aneinander, doch bleibt, weil das Prisma des Aragonits nicht 120° , sondern bloß $116^\circ 10'$ mißt, noch eine Lücke. Diese wird gewöhnlich durch das Weiterwachsen eines der drei Individuen ausgefüllt.

Drillingskrystalle, welche Durchwachsung zeigen, bietet öfter der Chrysoberyll, s. Fig. 269. Die Zwillingsenebene, die zugleich Berührungsfläche ist, entspricht einem Längsprisma (031).

Ein Mineral, das rhombische Krystalle zeigt und oft Durchkreuzungszwillinge liefert, ist der darnach benannte Staurolith. Ein Zwilling wird durch Fig. 270 versinnlicht. Die Zwillingsenebene ist hier eine Prismenfläche (032), welche gegen die aufrechte Axe unter $44^\circ 12'$ geneigt ist, daher das Zwillingskreuz beinahe rechtwinkelig ist.

Ein Zwillingskrystall der ersten Art ist der in Fig. 271 abgebildete, welcher am Kieselzinkerz (Calamin) beobachtet wurde. Dieser Ergänzungszwilling zeigt zwei hemimorphe Teilkristalle an der Endfläche $00\bar{1}$ verbunden, welche an dem einzelnen Krystall keine Symmetrieebene ist. (Vgl. Fig. 80 auf S. 47.)

Im trigonalen Systeme liefern Kalkspat (Calcit) und Quarz die lehrreichsten Beispiele.

Die Zwillingsbildungen des Kalkspates folgen häufig der Regel, nach welcher die Zwillingsenebene der Endfläche parallel erscheint, welche im trigonalen System keine Symmetrieebene ist. Ein Zwilling, dessen Teilkristalle Skalenoeeder ($21\bar{3}1$) sind, hat das Ansehen wie Fig. 272. Die Zwillingsgrenze verläuft horizontal und es folgen an derselben einspringende und ausspringende Kanten.

Teilkristalle mit den Formen $(10\bar{1}0)$ und $(01\bar{1}2)$ geben nach demselben Gesetze den Zwilling in Fig. 273, an welchem die Zwillingsgrenze oft verschwindet; aber der Vergleich mit dem einfachen Krystall in Fig. 135, auf S. 70, läßt alsbald die Zwillingnatur erkennen.

Ein anderes Zwillingsgesetz, welches am Kalkspat ungemein häufig beobachtet wird, lautet dahin, daß die Zwillingsebene parallel einer Fläche des Rhom-

Fig. 271.

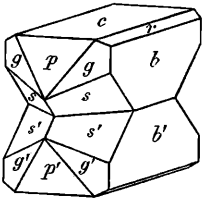


Fig. 272.

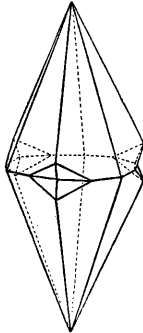


Fig. 273.

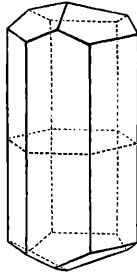


Fig. 274.

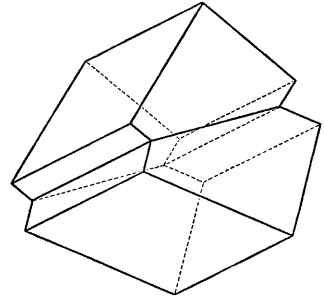


Fig. 275.

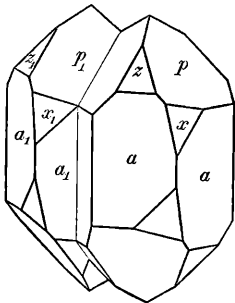


Fig. 276.

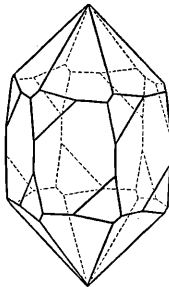


Fig. 277.

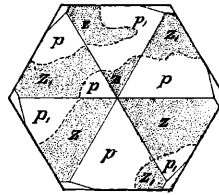
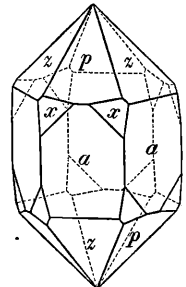


Fig. 278.



boeders $(01\bar{1}2)$ ist. In Fig. 274 erscheinen zwei Individuen von der Form des Grundrhomboeders in dieser Weise verbunden. Gewöhnlich wiederholt sich diese Zwillingbildung. Auch die Rhomboeder $(10\bar{1}1)$ und $(02\bar{2}1)$ treten als Zwillingsebenen auf. (Vergl. Fig. 251—253.)

Beispiele von Zwillingen mit Teilkristallen der Stufe III liefert der Quarz. Man sieht zuweilen zwei Teilkristalle in der Art verbunden, wie es die Fig. 275 angibt. Man kann den Zwilling durch Hemitropie nachahmen, wonach eine auf a senkrechte Linie Drehungsaxe ist. Zur gleichen Stellung führt auch Hemitropie um die Hauptaxe. Der Zwilling ist ein unsymmetrischer. Die Fläche $p = 10\bar{1}1$ des einen Individuums ist parallel der Fläche $z = 01\bar{1}1$ des zweiten, die Prismenflächen beider sind einander parallel. Die beiden Krystalle sind aber selten in dieser Weise aneinandergewachsen, häufig dagegen erscheinen sie durcheinandergewachsen, so daß ein scheinbar einfacher Krystall entsteht. Treten an einem solchen Durchdringungszwillinge jene Trapezoederflächen x auf, welche den Quarz als zur Stufe III gehörig charakterisieren, so erscheint er wie in Fig. 276.

Anstatt daß die Trapezoederflächen bloß an den abwechselnden Ecken auftreten wie an einem einfachen Krystall (vergl. Fig. 153, auf S. 78), sind dieselben an diesem Zwillings an allen aufeinanderfolgenden Ecken zu beobachten. Die beiden Teilkristalle in diesem scheinbar einfachen Krystalle sind manchmal ebenflächig gegeneinander abgegrenzt, meistens aber unregelmäßig krummflächig, wie dies die Fig. 277 andeutet, welche den Zwillingskrystall von oben gesehen darstellt. Die Grenzen der Teilkristalle sind punktiert, die Flächen s beider Teilkristalle dunkel angelegt. Jedes Individuum erscheint demnach zweimal an der Oberfläche des Krystalls. Da manchmal die s -Flächen beider Individuen matt, die p -Flächen aber glänzend erscheinen, so tritt in solchem Falle die in der obigen Figur angedeutete Erscheinung ein, welcher gemäß an den Kanten immer matte und glänzende Stellen aneinandergrenzen. Die Deutung dieses merkwürdigen Wechsels hat zuerst G. Rose auf Grund des bezeichneten Zwillingsgesetzes gegeben.

Der Quarz bildet öfter auch Ergänzungszwillinge, indem ein rechter und ein linker Krystall miteinander verbunden erscheinen. Der gleichförmig ausgebildete

Fig. 279.

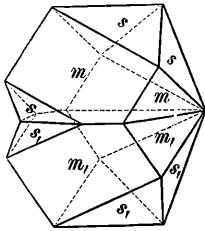


Fig. 280.

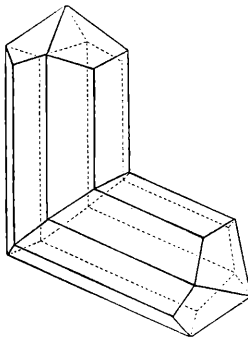
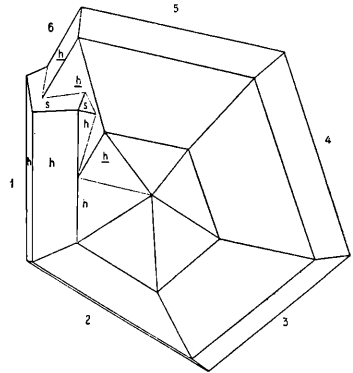


Fig. 281.



Zwillingskrystall hat die Form wie in Fig. 278. Der Vergleich mit den Fig. 153, 154 zeigt, daß die beiden Teilkristalle zu einer Fläche des verwendeten Prismas symmetrisch liegen. Der Zwillingskrystall sieht so aus wie ein holoedrischer Krystall, woran die Flächen x ein Skalenoeder darstellen würden.

Krystalle des tetragonalen Systemes erscheinen oft in hemitropen Zwillingen, in welchen eine Prismafäche, und zwar eine Fläche der verwendeten Doppelpyramide (101) die Zwillingsene angibt. Nach diesem Gesetze sind die Zwillinge des Zinnerzes gebildet, Fig. 279, deren Teilkristalle kurz-säulenförmig gestaltet sind und an denen durch das Zusammentreffen der Pyramidenflächen s einspringende Winkel entstehen. Diese Stelle der Zwillinge wurde mit dem Visier eines Helmes verglichen, daher der Ausdruck Visiergraupen. Entsprechende Zwillingsbildungen werden auch beim Rutil beobachtet, welcher meist langgestreckte Krystalle liefert. Die Zwillinge sind knieförmig, wie jener in Fig. 280, und es kommen häufig Drillinge vor, und durch Fortsetzung derselben Bildungsweise auch Vierlinge, Fünflinge und Sechslinge, wie dies die Fig. 281 angibt.

Der Kupferkies (Stufe IVa) bildet zuweilen Ergänzungszwillinge, Fig. 282. Zwei Teilkristalle, deren jeder ein Doppelsphenoid (111) darstellt, dessen Ecken durch das Gegensphenoid ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) abgestumpft sind, erscheinen in den korrelierten Stellungen. Diese Zwillinge lassen sich so wie die des Fahlerzes auf dreierlei Art beschreiben: als Zwillinge erster Art, jeder Normalen von (111) des einen Teilkristalles liegt die Normale von (111) des anderen gegenüber; oder als Zwillinge zweiter Art, die Basiskanten des Doppelsphenoids erscheinen als Axen der Hemitropie; endlich als Zwillinge der dritten Art, die Teilkristalle liegen symmetrisch zu den Flächen (100). In Fig. 283 ist ein am Kupferkies öfter beobachteter Fünfling dargestellt, der zu den Zwillingbildungen zweiter Art gehört. Hier wiederholt sich eine einfache Form, der verwendeten Doppelpyramide (201) entsprechend, um einen zentralen Krystall. Dieser ist mit je einem Nachbar nach dem Gesetz: Zwillingsebene (111) verbunden. Beim Kupferkies sind auch Zwillinge dritter Art beobachtet, bei denen (101) als Symmetrieebene auftritt (vergl. Fig. 238, S. 96).

Fig. 282.

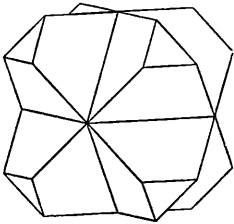


Fig. 283.

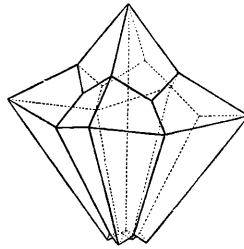
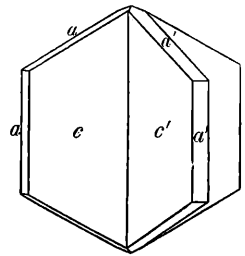


Fig. 284.



Zwillingkristalle des hexagonalen Systemes sind nicht häufig. Fig. 284 zeigt einen hemitropen Tridymitzwilling, dessen Teilkristalle die Kombination der Endfläche $c = (0001)$ mit dem Prisma $a = (10\bar{1}0)$ darstellen und einen Durchwachsungszwilling nach einer Fläche der stumpfen Pyramide (1016) bilden.

Fig. 285.

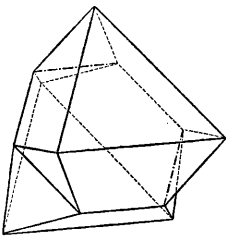


Fig. 286.

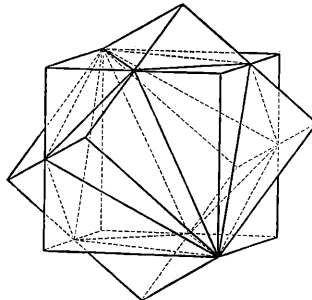
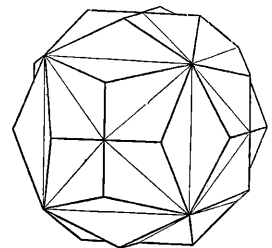


Fig. 287.



Im tetrahedralen System bieten die holoedrisch kristallisierten Minerale ziemlich häufig Zwillinge dar, welche dem Gesetze gehorchen, das eine zur Oktaederfläche parallele Ebene als Zwillingsebene annimmt. Wenn die Teilkristalle selbst die Oktaederform an sich tragen, so ergeben sich Zwillinge, wie in Fig. 285, wie

sie am Spinell, Magneteisenerz u. s. w. vorkommen. Nach dem gleichen Gesetze ist auch der Zwillings in Fig. 286 gebildet, der zwei Hexaeder zeigt, welche einen Durchdringungszwilling darstellen. Derselbe kommt am Flußspat häufig vor. Die Zwillingssaxe geht hier von links oben nach rechts unten durch das Eck, in welchem sechs Würfelkanten zusammenlaufen.

Die Krystalle der Stufen IV und II liefern öfter Ergänzungszwillinge, wie z. B. den in Fig. 239, auf S. 96, welcher zwei Tetraeder in den korrelaten Stellungen darbietet. Symmetrieebene ist hier eine Würfelfläche. Ein anderes Beispiel ist der am Pyrit öfter vorkommende Zwillings in Fig. 287, welcher der Zwillings des eisernen Kreuzes genannt wurde und zwei Pentagondodekaeder in den beiden korrelaten Stellungen zeigt. Symmetrieebene ist hier eine Rhombendodekaederfläche.

Ein bemerkenswertes Resultat dieser Übersicht der Zwillingungsverwachsungen ist, daß jene Krystallflächen und Zonen, welche als Zwillingsebenen oder Zwillingssachsen die Zwillingsgesetze beherrschen, stets sehr einfache Indices haben, sehr häufig geradezu primäre Flächen oder Zonen darstellen.

45. Zwillinge höheren Grades. Die Zwillingbildungen, welche aus mehr als zwei Individuen bestehen, können nach dem Vorgesagten entweder Wendezwillinge oder Zwillingstöcke sein. In beiden Fällen bieten sie eine Fortsetzung desselben Zwillingsgesetzes dar. Es gibt aber auch solche zwillingartige Verwachsungen, die aus mehr als zwei Individuen bestehen, und welche eine Bildung nach zwei verschiedenen Zwillingsgesetzen darstellen; ja es kommen auch Verwachsungen vor, die drei, vier, fünf verschiedene Zwillingsgesetze erkennen lassen. Derlei oft ganz ungemein verwickelte Verbindungen von einer größeren Anzahl

Fig. 288.

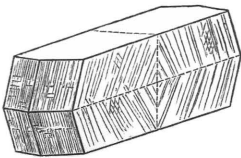


Fig. 289.

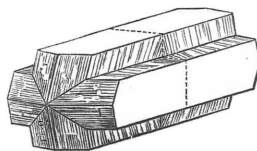
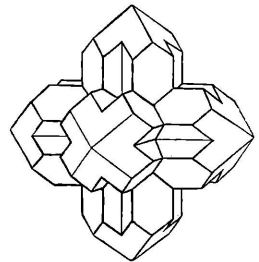


Fig. 290.



von Individuen sind als Zwillinge höheren Grades zu bezeichnen. Die Teilkrystalle befinden sich hier bisweilen in jenen Stellungen, welche den höheren Graden der Symmetrie entsprechen. Ein Beispiel dafür gibt der Phillipsit. Die monoklinen Krystalle desselben erscheinen als Durchkreuzungszwillinge, wie in Fig. 288, in welchen 001 die Zwillingsebene. Diese verbinden sich gewöhnlich zu zweien, gemäß einem anderen Gesetze, welches 011 als Zwillingsebene ergibt, Fig. 289. Zuweilen erscheinen aber drei Komplexe der letzteren Art nach einem ferneren Gesetze, nämlich nach 110 als Zwillingsebene verbunden und geben Verwachsungen, wie in Fig. 290. In diesen Gebilden von neun Symmetrieebenen haben die Individuen

zwölf verschiedene Stellungen. Andere Beispiele liefern die als Plagioklas bezeichneten triklinen Feldspate, welche oft verwickelte Bildungen nach mehreren Zwillingsgesetzen liefern.

46. Mimetische Krystalle. Mehrere Minerale niederen Symmetriegrades, deren Krystallform einzelne Winkel darbietet, welche sich den Winkeln der Formen höheren Symmetriegrades nähern, zeigen durch gleichzeitige Ausbildung ungleichartiger Flächen häufig Kombinationen, welche einer höheren Symmetrie zu entsprechen scheinen. Monokline Minerale, denen ein Prismenwinkel von ungefähr 60° zukommt, wie Biotit, Klinochlor, bieten oft einen Querschnitt, welcher einem regelmäßigen Sechsecke sehr nahekommt. Die Kombinationen haben nicht selten einen rhomboedrischen Typus. Rhombische Minerale, deren Prismenwinkel beiläufig 60° beträgt, wie Cordierit, Glaserit, Carnallit, bilden oft Krystalle von anscheinend hexagonaler Symmetrie. Rhombische Minerale, deren Prisma nahe 90° mißt, zeigen Kombinationen von tetragonalem Ansehen, wie der Bourbonit. Derlei Krystalle, welche Grenzformen darbieten, nehmen demnach öfter eine Symmetrie höheren Grades an. Dieses Voraneilen der Symmetrie an einfachen Krystallen kann man als Pseudosymmetrie bezeichnen.

Derlei pseudosymmetrische Individuen bilden aber häufig Zwillingsstöcke, Wendezwillinge und Zwillinge höheren Grades, welche nicht nur die höhere Symmetrie äußerlich vollständig erfüllen, sondern auch in ihren Flächenwinkeln diesen Krystallsystemen beinahe genau entsprechen. Diese stets aus vielen Individuen in komplizierter Weise aufgebauten Zwillingsbildungen zeigen demnach Gestalten, welche die Formen eines Krystallsystems höherer Ordnung nachahmen. Sie werden hier mimetische Krystalle, und die Erscheinung wird Mimesie genannt. Diese gewinnt ein besonderes Interesse, wenn sie nicht zufällig, sondern konstant auftritt, d. i. wenn alle Krystalle desselben Mineralen die Erscheinung darbieten, wie in den weiterhin beschriebenen Fällen.

Diese verwickelten Bildungen, welche man früher für einfache Krystalle gehalten hat, verdanken die Form von höherer Symmetrie dem Umstande, daß bei Grenzformen die Zwillingsbildung gleichzeitig nach allen ähnlich gelegenen Ebenen stattfindet. Jede Zwillingsebene liefert aber eine Symmetrieebene des ganzen Baues.

Ein einfaches Beispiel mimetischer Form gibt jener Kalifeldspat, dessen Krystalle aus triklinen Individuen zusammengesetzt sind und welcher den Namen Mikroklin erhalten hat. Die Krystalle erscheinen monoklin, bestehen aber aus ungleichmäßig vielen Individuen, welche parallel der Zwillingsfläche (der Längsfläche 010) aneinandergesetzt sind. Fig. 291. Es ist dieselbe Art der wiederholten Zwillingsbildung, welche auch am Albit vorkommt und welche in Fig. 257 dargestellt ist, jedoch sind dort alle Individuen dicker als bei dem Mikroklin, dessen Individuen von solcher Dünne sind, daß sie durch die feinen Striche in nebenstehender Figur noch viel zu grob angegeben werden. Dazu treten noch Zwillingslamellen nach dem Gesetz, Zwillingsaxe die *b*-Axe, welche die vorigen nahezu rechtwinklig durchkreuzen. Da der Winkel, welchen die Endfläche 001 und Längsfläche 010 des Mikroklinen miteinander bilden, $89^\circ 40'$ beträgt, also einem rechten Winkel sehr

nahe kommt, so sind an den Zwillingstöcken die einspringenden Kanten kaum zu bemerken.

Die Sammelindividuen des Mikroklins zeigen äußerlich die Symmetrie des nächsthöheren Grades, sie erscheinen monoklin, daher sie auch früher für Orthoklas gehalten, wurden bis Descloizeaux zeigte, daß hier mimetische Formen vorliegen. Man beobachtet öfter auch Zwillingbildungen des Mikroklins von der Form der Karlsbader Krystalle in Fig. 261. Hier bilden also die Sammelindividuen einen groben Zwilling nach einem anderen Gesetze als jenes ist, nach welchem sie selbst aufgebaut sind.

Unter den mimetischen Formen, welche eine rhomboedrische Symmetrie darbieten, sind jene des Pennins ein ziemlich einfaches Beispiel. Der Pennin bildet Krystalle, deren Form früher als Kombination eines steilen Rhomboeders mit dem Endflächenpaar aufgefaßt wurde, Fig. 294. Die Seitenflächen sind horizontal gerieft. Die Untersuchungen Mallards und Tschermaks ergaben jedoch, daß hier eine vielfache Zwillingbildung vorliegt, indem zahlreiche dünne monokline Lamellen in drei um 120° verschiedenen Stellungen übereinandergelagert erscheinen. Fig. 292 gibt das Gesetz der Zwillingbildung an. Die Individuen sind von dem Endflächenpaar $c = (001)$, dem Querprismenpaar $i = (\bar{1}01)$ und den Pyramidenflächen $v = (132)$ begrenzt. Die Zwillingsebene ist senkrecht zu c und parallel der

Fig. 291.

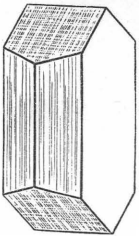


Fig. 292.

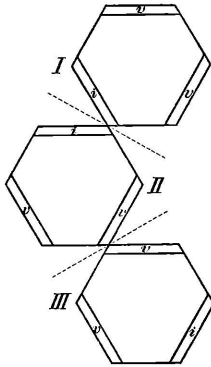


Fig. 293.

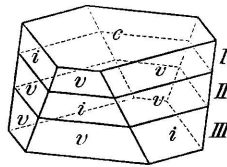
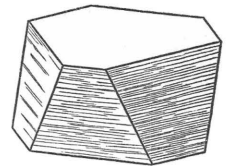


Fig. 294.



Kante $001:110$ wie beim Glimmer S. 105. Die Zwillingblättchen sind nicht neben-, sondern übereinandergelagert, wie es die schematische Fig. 293 darstellt. Da die Flächen i und v gegen die Endfläche ungefähr gleich geneigt sind, und da viele ungemein dünne Blättchen in den drei Stellungen aufeinanderfolgen, so hat die Sammelform eine rhomboedrische Gestalt.

Einen Fall von mimetischer Form mit tesseraler Symmetrie bietet der Leucit, welcher meistens in rundum ausgebildeten Krystallen auftritt. Letztere zeigen die Form des Ikositetraeders (211), an welcher nur selten eine Andeutung des Rhombendodekaeders durch kleine Flächen erkennbar ist. Weil die Form jenes Ikositetraeders für den Leucit charakteristisch ist, so hat man dieselbe das Leucitoeder genannt und der Leucit galt als ein ausgezeichnetes Beispiel des tesserale Krystall-

systemes, bis Gerhard vom Rath an glänzenden Krystallen eine Zwillingbildung erkannte, welche die Fläche des Rhombendodekaeders als Zwillingsebene voraussetzt, was im holotesseralen Systeme nicht vorkommen kann, und bis derselbe Beobachter durch Messungen zeigte, daß die Winkel des Leucits nicht dem tesseralen System entsprechen. Die Krystalle sind aber niemals einfach, sondern sie bestehen immer aus ungemein vielen dünnen Lamellen in zwillingsartiger Verwachsung, wovon die Fig. 295 eine Andeutung gibt. Man erkennt aber das Vorhandensein der vielen dünnen Blättchen immer nur auf den Flächen der glatten Krystalle. Die Zwillingsebene hat eine Lage, welche bei tesseraler Auffassung die einer Rhombendodekaederfläche wäre. Auf Grund optischer Untersuchungen hält Mallard die Individuen des Leucits für monoklin, Klein für rhombisch. Die Leucitkrystalle zeigen zuweilen auch deutliche Zwillinge, die nach dem genannten Gesetze gebildet sind.

Zu den mimetisch-tesseralen Krystallen gehören auch jene des Perowskits. An manchen derselben erkennt man die Zusammensetzung aus vielen Individuen schon an der Oberfläche der würfelförmigen Krystalle, wovon Fig. 296 eine Vorstellung gibt. Die feinen Erhabenheiten zeigen zuweilen die Form eines vierseitigen Prismas, welches mit einem Flächenpaare zur Oberfläche des Scheinwürfels parallel ist. Diese Prismen stoßen oft unter 90° zusammen. Die Ebenen, welche am Würfel (100) und (110) wären, fungieren als Zwillingsebenen; außerdem sind auch kompliziertere Zwillingsgesetze nachgewiesen worden. Nach den Erscheinungen beim Ätzen sind die Individuen für monoklin zu halten.

Fig. 295.

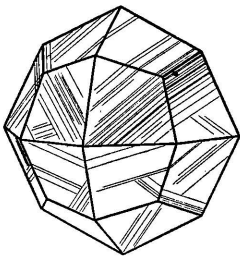


Fig. 296.

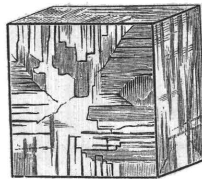
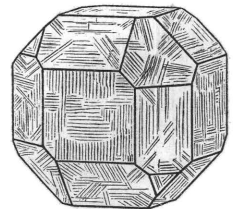


Fig. 297.



Ein Beispiel für Mimesie gibt auch der Boracit. Die Formen sind anscheinend tetraedrisch. Auf den Flächen sieht man öfter eine feine Riefung, welche Fig. 297 mit übertriebener Deutlichkeit angibt. Die Zwillingsebenen haben am Würfel die Lagen (110). Die Individuen, welche als hemimorph-rhombisch oder als monoklin aufgefaßt werden können, sind nach (110) oder (101) gestreckt.

Die Mehrzahl der mimetischen Krystalle, wie die des Mikroklin's, Pennins, sind ursprüngliche Bildungen, andere, die bei hohen Temperaturen als einfache Krystalle gebildet waren, sind durch Abkühlung in ein Aggregat von Zwillinglamellen übergegangen. Hierher gehört der Leucit. Das Nähere hierüber wird bei den Wirkungen der Wärme in Krystallen zur Besprechung kommen.

Über die mimetischen Formen im allgemeinen handeln: Mallard, *Annales de mines*. Bd. 10 (1876); Tschermak, *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, Bd. 31, pag. 637 (1879); Brauns, *Die optischen*

Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891; Mügge, Jahrb. f. Mineralogie, Beilageband 14, S. 246 (1901). Über d. Mikroklin: Descloizeaux, Comptes rend., Bd. 82, pag. 16 (1876); Pennin: Autor, Sitzungsber. der Wiener Akad., Bd. 99, pag. 174 (1890); Leucit: G. vom Rath, Jahrb. f. Mineralogie, 1873, pag. 111; Klein, Nachrichten des Ges. d. Wissenschaften zu Göttingen 1884, Nr. 11; Perowskit: Baumhauer, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 4, pag. 187; Boracit: Mallard, Bull. soc. min., Bd. 5, pag. 144; ferner Bög-gild, Zeitschr. f. Kryst. Bd. 50, S. 349.

47. Verwachsung ungleichartiger Krystalle. Eine merkwürdige Erscheinung ist die regelmäßige Verbindung von Krystallen, welche verschiedenen Mineralen angehören. In diesem Falle sind die Krystalle zweier verschiedener Mineralgattungen in der Weise miteinander verbunden, daß beide mindestens eine Krystallfläche parallel zeigen, welche aber an beiden häufig eine verschiedene krystallographische Bedeutung hat, ferner daß beide auch den Parallelismus von mindestens einer Kante in jenen beiden Flächen darbieten. Die Krystalle sind also gegeneinander bestimmt orientiert. Es herrscht eine Ähnlichkeit mit den Krystallstöcken und den Zwillingen, welche aber bei dem Umstande, als die gegeneinander orientierten Krystalle meist verschiedenen Krystallsystemen angehören, gewöhnlich bloß eine entferntere ist.

Der längst bekannte, hierhergehörige Fall ist die orientierte Verwachsung von Disthen (triklin) mit Staurolith (rhombisch), welche schon von Gernar 1817 beschrieben wurde. Die Fläche M am Disthen und b am Staurolith spiegeln miteinander, außerdem haben beide Krystalle die Kanten einer Zone parallel. Fig. 298.

Fig. 298.

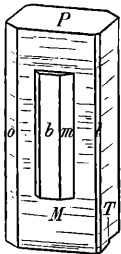


Fig. 299.

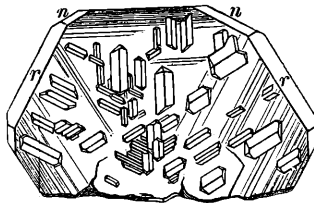
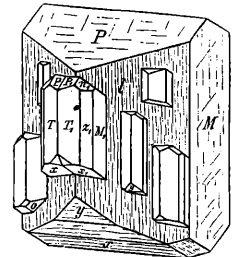


Fig. 300.



Sehr bekannt ist die Verwachsung von Orthoklas (monoklin) und Albit (triklin), welche von L. v. Buch beschrieben worden. Beide Krystalle haben die Längsfläche 010 und die Kanten der Zone des aufrechten Prismas parallel. In dieser Zone haben beide auch ähnliche Winkel. Die Fig. 300 zeigt einfache Krystalle und Zwillinge von Albit an den Flächen l eines Orthoklaskrystalles. Augit und Amphibol (beide monoklin) zeigen nach Haidinger oft parallele Verwachsung. Amphibolkrystalle sind zuweilen mit Oktaedern von Magnetit besetzt, so daß die Flächen der letzteren parallel 001 des Amphibols und die Kante dieser Fläche mit 100 parallel einer Oktaederkante. Ein häufiges Vorkommen ist die zuerst von Breithaupt beschriebene orientierte Verwachsung von Eisenglanz (trigonal) und Rutil (tetragonal). Fig. 299. Eine Fläche des verwendeten Prismas (100) vom Rutil ist parallel mit der Endfläche (0001) des Eisenglanzes und die Prismenkante

des Rutil ist parallel zur Kante $(0001):(11\bar{2}0)$ des Eisenglanzes. Baumhauer wies kleine Schwankungen zwischen dieser Stellung und einer anderen nach, bei welcher nebst den Flächen (100) Rutil und (0001) Eisenglanz noch die Kanten $(100):(111)$ Rutil und $(0001):(22\bar{4}3)$ Eisenglanz zusammenfallen, wobei sich auch die Flächen (111) Rutil und $(22\bar{4}3)$, n Eisenglanz nahezu decken. Fahlerzkrystalle haben öfter einen rauhen Überzug, der aus parallelgelagerten Kupferkieskrystallen besteht. Bekannt sind die orientierten Verwachsungen von Speerkies mit Pyrit, von Calcit mit Quarz, von Bleiglanz mit Blende u. a. m.

Das Auftreten orientierter Verwachsungen verschiedener Minerale zeigt, daß von den Krystallflächen auch auf die umgebende fremde Substanz eine orientierende Anziehung ausgeübt werden kann, so daß unter günstigen Umständen eine Anlagerung des ungleichartigen Stoffes in derselben Weise erfolgt, als ob er gleichartig wäre.

Man kann hierhergehörige Verwachsungen auch absichtlich hervorrufen. Darunter sind jene besonders interessant, welche man durch Einlegen frischer Spaltungsstücke von Calcit in eine gesättigte Lösung von Natriumsalpeter erhält. Auf die Kanten und Flächen des Calcits lagern sich bei der Krystallisation Rhomboeder des Natriumsalpeters in paralleler Stellung.

Eine andere Art der Regelmäßigkeit wird an manchen Krystallen beobachtet, welche sich nur auf bestimmten Flächen mit einem Absatz eines fremden Mineralen bedecken oder auf den verschiedenen Flächen auch verschiedene Absätze darbieten. So sieht man bisweilen an Adularkrystallen bloß die rauhen Flächen $z = (130)$, an Periklinzwillingen bloß die Flächen $T = (1\bar{1}0)$ mit Chlorit bedeckt, während die übrigen Flächen rein und glatt sind. An manchen Stufen von Bleiglanz erscheinen die Würfelflächen mit einem blauen, die Oktaederflächen mit einem gelben Überzuge versehen. Dies zeigt eine verschiedenartige oder auswählende Einwirkung der verschiedenen Krystallflächen auf die in der Umgebung vorhandenen gelösten Stoffe an.

Lit. Frankenheim, Lehre von der Kohäsion, 1835. Haidinger, Handb. d. bestimm. Mineralogie, 1845, S. 279. Breithaupt, „Berg- und hüttenmänn. Zeitung“, 1861, S. 153. Frenzel, Pogg. Ann., Bd 155, S. 17. Sadebeck, Angew. Krystallographie, 1876. Becke, Tschermaks Min. u. petr. Mitt., Bd. 5, S. 331. Wallerant, Bulletin d. l. soc. française d. min., t. 25, pag. 180 (1902). Mügge, Jahrb. f. Min., Beilagebd. 16, S. 335 (1903). Baumhauer, Berl. Akad. Sitzber. XII (1906). Barker, Trans. Chem. Soc., Vol. 89 (1906).

48. Ausbildungsweise der Krystalle. Die Krystalle bilden sich öfter nach den verschiedenen Richtungen ziemlich gleich aus, wodurch sie nußförmig erscheinen, was bei den tesseralen sehr gewöhnlich ist. Im übrigen haben die Krystalle entweder eine vorherrschende Ausdehnung nach einer Ebene, wodurch sie tafelförmig werden, oder sie sind nach einer Richtung besonders stark ausgedehnt, nach den übrigen weniger entwickelt, wodurch sie säulenförmig werden. Häufig ist die Tafelform nach der Endfläche mit hohen Werten des Parameters c der Vertikalaxe, Säulenform mit niederen Werten verbunden. Letztere Ausbildung liefert bei geringen Dimensionen nadelförmige oder haarförmige Krystalle.

Die Krystalle, welche fortwährend schwebend wachsen, sind schließlich ringsum ausgebildet. Wird die Matrix, in welcher sie enthalten waren, entfernt, so daß die Krystalle freiliegen, so heißen diese nun lose Krystalle. Die sitzend gebildeten Krystalle sind auf der einen Seite aufgewachsen und an dieser nicht ausgebildet. Werden sie von der Stelle entfernt, so präsentieren sie sich als abgebrochene Krystalle.

Man findet öfter abgebrochene Krystalle, besonders häufig von Quarz, welche an den Bruchflächen die Erscheinung des Fortwachsens durch Anlagerung neuer Substanz, manchmal bis zur Bildung neuer ebener Flächen darbieten. Die Bruchflächen sind hier gleichsam ausgeheilt.

Beim Wachsen der Krystalle bilden sich ungemein häufig verzerrte Formen, an welchen jene Flächen, welche dem Symmetriegesetze zufolge gleich sind, tatsächlich mit ungleicher Größe auftreten [11]. Diese Ungleichheit führt öfter dazu, daß eine oder die andere Fläche, welche früher vorhanden war, beim Fortwachsen ganz verschwindet, während die mit ihr gleichen erhalten bleiben. An manchen Krystallen zeigt sich also eine Unvollzähligkeit der gleichen Flächen (Meroedrie), was bisweilen eine Symmetrie niedrigeren Grades vortäuscht und für eine bestimmte Fundstelle charakteristisch ist.

Eine andere Erscheinung, welche das Aussehen der Krystalle völlig zu verändern vermag, ist das Voraneilen des Wachstums in bestimmten Richtungen oder Ebenen und das infolgedessen stattfindende Zurückbleiben in den übrigen.

Schon beim geschlossenen Krystall ist das Wachstum in den Ebenen, welche vom Mittelpunkt durch die Kanten, und den Linien, welche durch die Ecken gehen, in einem bestimmten Verhältnis größer als jenes normal zu den Flächen. Überschreitet das Kanten- und Eckenwachstum jene Grenze, so bleiben die dazwischenliegenden Flächen im Wachsen zurück. Anstatt der Flächen entstehen Vertiefungen, die öfter treppenartige Absätze zeigen, und der ganze Krystall sieht wie abgemagert oder eingefallen aus. Derlei Bildungen werden öfter Krystallskelette genannt. Ein Beispiel geben manche Krystalle von Cuprit, an welchen statt der Oktaederflächen treppenartige Vertiefungen auftreten. Fig. 301. Die Nebenfigur zeigt einen Durchschnitt, parallel der Würfelfläche. Das Kochsalz liefert ein anderes Beispiel. Beim Abdampfen einer Kochsalzlösung erhält man an der Oberfläche der Lösung schüsselartig vertiefte Körperchen, die eine Zeitlang schwimmen, und am Boden bilden sich Würfelchen mit ausgehöhlten Flächen.

Durch das Vorherrschen des Wachsens an den Ecken und Kanten erzeugen sich öfter eigentümliche, aus Ästchen, Stäbchen oder Blättchen zusammengesetzte Individuen von zierlicher Gestalt, welche sternförmig, baum- und strauchförmig, farnkrautartig, netzartig, pinselartig etc. erscheint. Die einzelnen Ästchen u. s. w. sind wiederum mit kleinen Individuen von paralleler Stellung besetzt. Beispiele sind die sternförmigen Schneekrystalle, die baumförmigen Individuen von Gold, die netzförmigen von Cuprit. Manche dieser Bildungen entsprechen nicht einfachen Individuen, sondern Zwillingskrystallen, wie die baumförmigen Gestalten des Kupfers, die netzartigen des Rutil, welcher in der Sagenit genannten Art wie ein Gewebe feiner Nadeln erscheint. Für Krystalle von solcher Ausbildung eignet sich die von

Bréon gebrauchte Bezeichnung Gitterkrystalle, nach dem älteren Ausdrucke werden sie gestrickte Formen genannt. Bei fortgesetztem allmählichem Wachstum können sich alle diese Formen, welche eine regelmäßige Unterbrechung der Raumauffüllung zeigen, zu vollständigen und ebenflächigen Krystallen ausbilden, sie sind daher als unvollständige Krystalle aufzufassen. Fig. 302 ist ein Gitterkrystall von

Fig. 301.

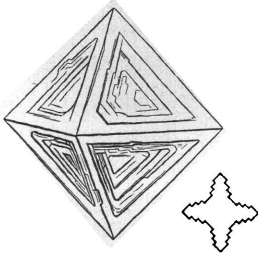


Fig. 302.

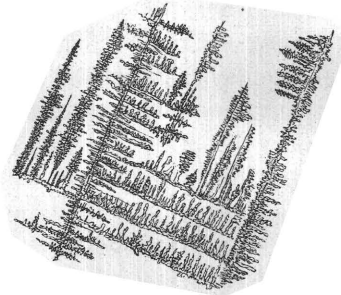
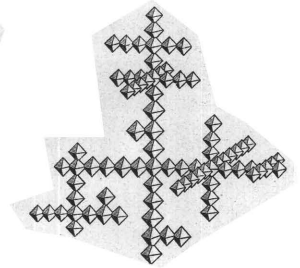


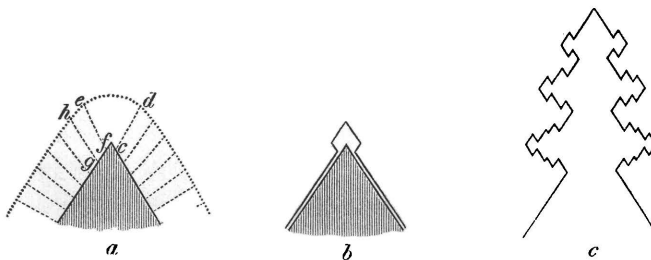
Fig. 303.



Silberglanz in natürlicher Größe, wie sich derselbe in einem Durchschnitte parallel der Würfelfläche darstellt. Fig. 303 zeigt einen Teil davon in vergrößertem Maßstabe und läßt erkennen, daß viele kleine Oktaeder sich nach den drei Axen des Würfels anordnen.

Diese netzartigen Gebilde, welche überall dort auftreten, wo eine rasche Krystallisation stattfindet, haben eine große Verbreitung. Lehmann erklärt auf Grund seiner mikroskopischen Beobachtungen ihre Entstehung in folgender Weise: Jedes Krystallindividuum vergrößert sich nur dann, wenn die umgebende Lösung etwas übersättigt ist, es entnimmt dabei aus der nächsten Umgebung Stoff, wodurch um das wachsende Individuum ein Hof verdünnter Lösung entsteht. Die Diffusion verursacht hierauf wieder einen Ausgleich, so daß neuer Stoff in den Hof eintritt. Fig. 304a. Die vorhandenen Ecken und Kanten beherrschen aber ein viel größeres

Fig. 304.



Feld der Diffusionsströmung als ein gleichgroßes Stück der Flächen des wachsenden Individuums. Sie sind daher beim Stoffansatz im Vorteil. So beherrscht die hier dargestellte Kante den Diffusionsraum $cdef$, während von dem gleichgroßen Flächenelement fg nur der viel kleinere Raum $efgh$ in Anspruch genommen werden kann. Demnach setzt sich über dem ebenen Flächenelement fg , sowie

über allen benachbarten gleichen Flächenelementen, in einem bestimmten Zeitraume bloß eine dünne Krystallschicht ab, während über dem gebrochenen Flächenelemente *cf* sich eine viel dickere Zuwachsschicht absetzen wird. Fig. *b*. Diese letztere bildet an der Kante einen Ansatz, welcher von Krystallflächen eingeschlossen ist. Beim Fortwachsen fügen sich durch dieselbe Veranlassung an die Kanten dieses Ansatzes wieder neue, auffallend starke Zuwachsschichten, und es entsteht nach einiger Zeit eine Bildung wie in Fig. *c*, schließlich nach weiterem Verlaufe ein Gitterkrystall. Bei raschem Wachstum aus stark übersättigter Lösung ist der Hof breit, die Diffusionsströmung stark, es erfolgt ein vorherrschender Ansatz an Ecken und Kanten. Beim allmählichen Wachsen aus wenig übersättigter Lösung ist der Hof schmal, die Strömung schwach, der Ansatz also gleichförmig.

Es kann auch der Fall vorkommen, daß ein Individuum innen netzförmig, außen aber mit vollkommen geschlossener Form ausgebildet ist. Sind die Maschen des Netzes durch einen fremden Körper ausgefüllt, so sieht das Ganze so aus, als ob ein Krystall aus einer dünnen Schale und einem fremden Kern bestünde. So erklärt Knop die von Scheerer als Perimorphosen bezeichneten Gebilde, z. B. Granat- oder Vesuviankrystalle, die aus einer dünnen Haut des Minerals, innen aber aus einem Gemisch von Calcit und demselben Mineral bestehen. Hierher gehören auch jene Leucitkrystalle, die im Innern aus einem Krystallskelett mit eingelagerter Grundmasse bestehen, äußerlich aber eine geschlossene Form darbieten.

Über verzerrte Krystallformen: A. Weisbach, „Über die Monstrositäten tesseral-krystallisierender Minerale“. G. Werner, *Jahrb. f. Min.*, 1867, S. 129. Klein, „Über Zwillingverbindungen und Verzerrungen“, Heidelberg, 1869. Über die netzartig gebildeten Krystalle: Knop, „Molekularconstitution und Wachstum der Krystalle“. Hirschwald, *Jahrb. für Min.*, 1870, S. 183. Lehmann, „*Zeitschr. für Krystallographie*“, Bd. 1., S. 458. Leucit: Weed und Pirsson, *American Journ. of. sc. (IV)*, Bd. 2., S. 145.

49. Während in den Gitterkrystallen die Raumauffüllung in regelmäßiger Weise unterbrochen ist, gibt es auch solche Fälle, in denen die Raumerfüllung in einer zufälligen und unregelmäßigen Weise unterbrochen erscheint. Dies geschieht namentlich durch starre Körper, welche schon früher vorhanden waren oder gleichzeitig mit dem Krystall gebildet wurden, und daher ist diese Erscheinung bei schwebend gebildeten Krystallen häufig. Ein Beispiel sind die kleinen Tafeln von Titaneisenerz im Basalt, welche oft so aussehen, als ob sie in Striemen und Lappen zerschnitten wären. So wie starre Körper ein Hindernis der kontinuierlichen Raumauffüllung bilden können, ebenso werden auch Flüssigkeiten und gasförmige Körper, welche bei der Krystallisation den Raum verlegen und die Anlagerung des gleichartigen Stoffes beeinträchtigen, stellenweise eine Unterbrechung im Zusammenhange bewirken können.

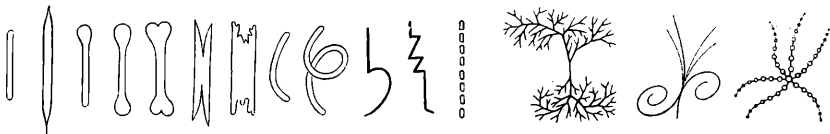
Manche der schwebend gebildeten Krystalle leiden stark unter dem Einflusse der Umgebung, ihre Form ist oft gestört, andere hingegen zeigen sich fast immer scharf ausgebildet, so daß man schließen darf, sie vermögen bei der Krystallisation kleine fremde Partikelchen fortzuschieben. Solchen Mineralen, welche fast immer scharfe Krystalle zeigen, schreibt man also eine größere Krystallisationskraft

zu als anderen. Beispiele sind Pyrit, Magneteisenerz, Spinell, Apatit. Das Fortschieben und Heben fremder Körper bei der Krystallisation ist übrigens direkt beobachtet.

Bunsen in den Ann. der Chemie, 1847, Bd. 62, S. 1 und 59. Das Bersten von Steinen, in deren Poren Krystallisationen stattfanden: Volger, Pogg. Ann., Bd. 93, S. 214. Über die hebende Kraft wachsender Krystalle: Becker and Day, Proc. Washington Acad. of Sciences, Bd. 8, S. 283, 1905.

50. Mikrolithe. Viele Krystalle sind so klein, daß sie erst durch das Mikroskop wahrgenommen werden. Diese zeigen ebene Flächen und meistens dieselben Umrisse wie jene, deren Formen uns durch die Beobachtung mit freiem Auge bekannt sind. Es gibt aber unter den mikroskopischen Bildungen solche mit Formen, die von krummen Flächen eingeschlossen sind und die an den großen ausgebildeten Krystallen nicht wiederkehren, welche also als Wachstumsformen besonderer Art zu betrachten sind. Wegen solcher Eigentümlichkeit ist es wünschenswert, eine Bezeichnung für diese kleinen Gebilde zu haben. Wenn dieselben bestimmte Umrisse darbieten, so daß man ihre Krystallnatur daran erkennt, so wird der von Vogelsang vorgeschlagene Name Mikrolith auf sie angewendet, doch versteht man darunter vorzugsweise solche Individuen, welche stäbchenförmig oder nadelförmig ausgebildet sind. Diese lassen sich nämlich am leichtesten wahrnehmen, während feine Blättchen in der breiten Ansicht oft nicht ganz scharf hervortreten oder unbestimmte Umrisse haben, in der schmalen Ansicht aber wiederum wie Nadeln erscheinen, während endlich die Mikrolithe gleichförmiger

Fig. 305.



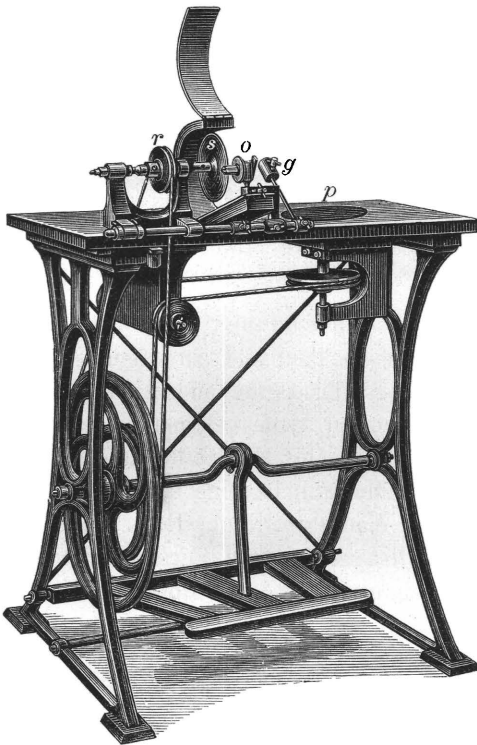
Ausdehnung in ihren Umrisen selten charakteristisch sind und meist wie Staubkörner aussehen. Die Form einfacher Stäbchen ist die häufigste, zuweilen sind die Mikrolithe stachelspitzig, andere erscheinen kopfig oder keulig oder auch biskuitförmig. Beistehende Fig. 305 gibt einige Formen an, von welchen die ersteren einfache, die letzten drei zusammengesetzte sind. Manche Mikrolithe haben Endigungen wie Schwalbenschwänze, oder sie haben sanduhrförmige Gestalten, sind jedoch einfache Individuen, mit eigentümlicher Wachstumsform. Echte Zwillinge kommen natürlich auch vor. Auffallend sind die gekrümmten Formen, die bald ein gebogenes Stäbchen, bald eine Schlinge nachahmen, und gar die undurchsichtigen, haarförmigen Gebilde, welche von Zirkel Trichite genannt werden und welche in feine Spitzen endigen, oder die borstenartig steif aussehenden, mit gleichzeitig auftretenden Krümmungen und zackigem Verlaufe. Eine überraschende Erscheinung ist die Gliederung mancher Mikrolithe, die rosenkranzförmig aneinandergereiht erscheinen.

Manche dieser Mikrolithe lassen sich auf bestimmte Minerale beziehen, so z. B. kennt man Apatit-, Feldspat-, Augit-Mikrolithe u. s. w. Einige Mikrolithe aber sind in ihrer Entwicklung noch nicht so genau verfolgt, als daß man angeben könnte, welcher Mineralart sie angehören.

Mikrolithe zeigen sich besonders häufig und deutlich im Obsidian, Perlstein und Pechstein. Ebenso finden sich derlei Bildungen häufig in den künstlichen Schlacken. Durch Mischung krystallisierbarer Substanzen mit zähflüssigen Körpern kann man Mikrolithe erhalten und deren Wachstum studieren, weil der zähflüssige Körper verzögernd auf die Krystallisation wirkt. Vogelsang bemerkte bei der mikroskopischen Beobachtung jener Gebilde, welche der Schwefel bei der Krystallisation in einer Mischung von Schwefelkohlenstoff und Kanadabalsam darbietet, Tröpfchen einer übersättigten Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff, die zu amorphen Kügelchen erstarren und sich manchmal zu Häufchen und Reihen anordnen. Er hielt diese Körperchen für eine besondere Vorstufe der Krystallbildung und nannte sie Krystallite. In glasigen Gesteinen kommen ähnliche Gebilde oft vor.

Lit. Zirkel. Die mikroskop. Beschaffenheit der Minerale und Gesteine 1873 und Lehrbuch der Petrographie, 2. Aufl., S. 20 u. ff. Rosenbusch-Wülfing, Mikr. Physiographie d. Minerale, 4. Aufl., I., S. 367. Lehmann, in der vorherzitierten Abhandlung. Kreutz, Tschermaks Min. und petrogr. Mitt., Bd. 6, S. 147. Vater, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 27, S. 505.

Fig. 306.



51. Mikroskopische Untersuchung.

Die Beobachtung der Formverhältnisse, welche mit freiem Auge nicht mehr erkannt werden können, ist erst in der letzten Zeit mit Erfolg betrieben worden, obgleich die Anwendung des Mikroskops schon früher versucht wurde. Erst nachdem durch Sorby eine praktische Methode gefunden war, aus den Mineralen, welche Durchsichtigkeit besitzen, dünne Schichten herzustellen, trat das Mikroskop auch hier in seine Rechte.

Härtere Minerale werden zu diesem Zwecke zuerst durch Zerschlagen in die Form dünner Splitter oder durch Zerschneiden in die Gestalt von Täfelchen gebracht, um sodann durch Schleifen in höchst dünne und durchsichtige Blättchen verwandelt zu werden. Das Zerschneiden geschieht durch eine Maschine, eine Art Drehbank, welche eine dünne Scheibe von Eisen in Rotation bringt. Eine Art der gegenwärtig im Gebrauche stehenden Schneidemaschinen ist in Fig. 306 abge-

bildet. Die Eisenscheibe *s* wird benetzt, am Rande fleißig mit Smirgelpulver bestrichen, oder sie wird mit Diamantpulver, welches mit Öl angerührt und in den mittels eines Messers eingehackten Rand hineingestrichen wird, bewaffnet, worauf sie bei schneller Drehung in das angedrückte Mineral eindringt und in der gewünschten Richtung einen Schnitt hervorbringt. Das Schleifen geschieht anfänglich auf einer Platte von Sandstein, auf einer Smirgelplatte oder auf einer Metallplatte, am besten einer Gußeisenplatte, die mit Wasser benetzt und mit Smirgelpulver oder mit Carborundum, einer künstlich dargestellten Verbindung von Silicium und Kohlenstoff, bestreut ist. Der feinere Schliff wird entweder auf einer ebenen Tonschieferplatte oder besser auf einer matten Glasplatte mit feinem Smirgelpulver ausgeführt. Jeder Splitter und jedes Täfelchen wird zuerst auf der einen Seite eben und fein geschliffen, sodann mit dieser Seite mittels Kanadabalsams an ein handliches Stück einer dicken Glasplatte gekittet, um schließlich auch auf der anderen Seite eben und fein geschliffen zu werden, bis es durchsichtig geworden. Es ist nicht nötig, das schließlich erhaltene dünne Blättchen, den Dünnschliff, welcher so durchsichtig sein muß, daß man eine daruntergelegte Schrift lesen kann, auch noch zu polieren, vielmehr wird selbes nach dem Feinschleifen sogleich präpariert, indem es durch Erwärmen des Kittes und Abziehen von der Unterlage befreit und auf eine reine Glasplatte, einen Objektträger, gebracht und dort durch Umgebung mit Kanadabalsam und Bedeckung mit einem dünnen Glasplättchen für die mikroskopische Beobachtung geeignet gemacht wird.

Die Beobachtung geschieht mittels des Mikroskops entweder ohne Zuhilfenahme fernerer Apparate oder man benützt, je nach dem besonderen Zwecke, verschiedene Vorrichtungen. Die Messung der Größe der Objekte verlangt Glasmikrometer oder Mikrometerschrauben, die Messung der Winkel an mikroskopischen Krystallen erfordert Visuren im Instrumente, in der Form von Fadenkreuzen oder Linien auf Glasplatten, ferner Teilkreise, die entweder am Tische des Mikroskops oder am Okular angebracht sind, die Beobachtung im polarisierten Lichte, von der später noch die Rede sein wird, Nicolsche Prismen am Tubus und unter dem Tische des Mikroskops. Für höhere Temperaturen sind bestimmte Einrichtungen zu treffen. Die Beobachtung der Erscheinungen bei Krystallisation aus Lösungen setzt ebenfalls einen hierfür geeigneten Bau des Instrumentes voraus. Für das Zeichnen der mikroskopischen Bilder, für das Photographieren derselben sind wiederum gewisse Vorkehrungen nützlich oder notwendig. Die Dünnschliffe können auch, wofern sie einerseits unbedeckt gelassen werden, zu chemischen Reaktionen im kleinen Maßstabe, deren Resultat mikroskopisch verfolgt wird, benutzt werden.

Ausführlicheres über all dieses in den angeführten Werken von Zirkel; ferner Rosenbusch-Wülfing, Mikroskopische Physiographie. Groth, Physikalische Krystallographie. Fues, Jahrb. f. Min., Beilageband 7, S. 406. Wülfing, ebenda, 1901, Bd. 2, S. 1.

52. Oberfläche der Krystalle. Die Flächen, von welchen die Krystalle eingeschlossen werden, sind entweder vollkommen glatt und eben oder sie erscheinen nicht glatt, sondern gerieft, fein gezeichnet oder matt, rauh, drusig etc. Die matte oder rauhe Beschaffenheit kann dem Krystall als solchem zugehören oder auch von angelagerten oder hervorragenden fremden Partikelchen herrühren.

Die Riefung besteht in einer vielfachen Wiederholung von feinen Kanten, sie kann demnach entweder eine Kombinations- oder eine Zwillingsriefung sein, indem ein treppenartiger Wechsel derselben zwei Flächen stattfindet, die entweder demselben Individuum oder vielen zwillingsartig verbundenen Individuen angehören. An dem Krystall von Arsenkies in Fig. 307 und an dem Quarzkrystall, Fig. 308, ist eine Kombinationsriefung parallel den vorhandenen Kanten zu bemerken. Der hemiedrische Pyritwürfel in Fig. 309 bietet auch eine derartige Riefung dar, welche von sehr schmalen Flächen eines Pentagondodekaeders her-

Fig. 307.

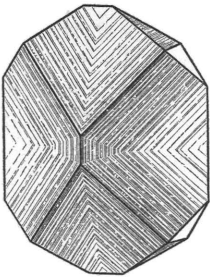


Fig. 308.

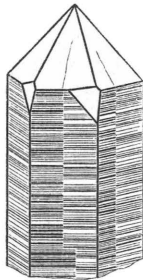


Fig. 309.

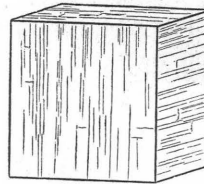
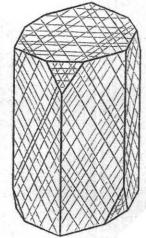


Fig. 310.



rührt. Der Korundkrystall, Fig. 310, liefert ein Beispiel der Zwillingsriefung, welche durch feine, dem Rhomboeder parallel gelagerte Lamellen hervorgebracht wird. Die Riefung eingeschlossener Krystalle ist bisweilen keine ursprüngliche, wofern ein früher einfacher Krystall später eine Verschiebung erlitten hat.

Die feine Zeichnung, welche manche Krystallflächen darbieten, rührt von regelmäßig geformten Erhabenheiten und Vertiefungen her, welche der Fläche oft ein halbmattes Ansehen geben, bei einer bestimmten Beleuchtung aber einen Glanz verleihen, so daß die Oberfläche damastartig erscheint (Fluorit, Quarz). Wenn die Zeichnung etwas gröber wird, so erscheint die Fläche gekörnt, gestrichelt, geschuppt, getäfelt, parkettiert etc., und man erkennt nun oft schon mit freiem Auge die Form der einzelnen Erhabenheiten und Vertiefungen, welche parallel

Fig. 311.

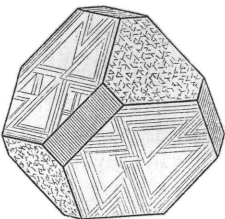


Fig. 312.

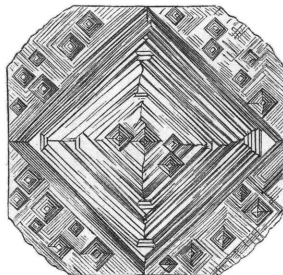
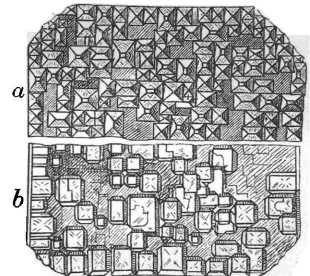


Fig. 313.



angeordnet sind. Die Erscheinung läßt sich bis dahin verfolgen, wo diese Erhabenheiten als von Krystallflächen begrenzte, hervorragende Krystallteile erkannt werden und schließlich bis zu dem Extrem, da keine Ebene mehr erkennbar ist, sondern

statt des einfachen Krystalles ein Krystallstock vorliegt. Die regelmäßigen Erhabenheiten, welche an den Krystallflächen, bald nur unter dem Mikroskope, bald schon unter der Lupe, endlich auch mit freiem Auge beobachtet werden, sind von Krystallflächen begrenzt. Sie sind daher regelmäßig geformt und erscheinen wie kleine Krystallindividuen, welche sich aus der Fläche der größeren Krystallmasse in paralleler Stellung bald mehr, bald weniger emporheben. Scharff hat über diesen Gegenstand eine Reihe von Arbeiten geliefert, Sadebeck, welcher sich eingehend mit demselben beschäftigte, bezeichnet die kleinen Individuen als Subindividuen. Fig. 311 stellt die feine Zeichnung auf den Flächen eines Blendekrystalles dar. Die Flächen des positiven und jene des negativen Tetraeders haben eine verschiedene Beschaffenheit. Fig. 312 gibt nach Zeichnungen von Rumpf die mit Subindividuen und feinen Riefen bedeckte Fläche 001 eines Apophyllitkrystalles wieder, und Fig. 313 zeigt an, in welcher Weise die Basisflächen zweier Apophyllitkrystalle mit Subindividuen bedeckt sind.

Die angeführten Erscheinungen auf den Flächen der Krystalle rühren zum großen Teile von Umständen bei der Bildung der letzteren her. Die verschiedenen Umstände bewirken es, daß entweder ein solid ausgebildeter Krystall mit glatten Flächen entsteht oder daß auf die Flächen kleine Subindividuen aufgebaut werden, welche ein Voraneilen mancher Punkte in der Bildung des Krystalles bekunden, oder endlich, daß durch ein solches Voraneilen eine netzartige Bildung oder ein Krystallstock hervorgeht. Öfter aber sind die feinen Unebenheiten der Oberfläche das Resultat einer späteren Veränderung, indem die ebenflächigen Krystalle dem Angriffe auflösender Substanzen ausgesetzt waren.

Scharff, Jahrb. f. Min., 1861, S. 32, S. 385; 1862, S. 684. Rose-Sadebeck, Elemente der Krystallographie, 2. Bd., S. 156.

53. An manchen Krystallen erscheinen die größeren Flächen gebrochen, d. h. sie bestehen aus zwei oder mehreren glatten Flächen, die äußerst schwach gegeneinander geneigt sind. Diese folgen der Symmetrie des betreffenden Krystalles, liegen meist in ausgebildeten Zonen und ihre Winkel führen auf hohe Indizes, deren Verhältnis dem einfachen Verhältnis jener Fläche nahe kommt, an deren Stelle sie auftreten. So z. B. geben zwei Flächen, die auf einer Prismenfläche lagern, die Indizes 83, 82, 0 und 82, 83, 0 anstatt der einfachen Indizes 110. Derlei Flächen, welche bestimmten Flächen sehr nahekommen, hat Websky Vizinalflächen genannt. Das Zurückführen auf Indizes ist schwierig, da man innerhalb der möglichen Fehler auch ein anderes Verhältnis, z. B. statt 83 : 82 auch 85 : 84 oder 82 : 81 annehmen kann. Die Vizinalflächen sind demnach von anderer Art als die Krystallflächen einfacher Indizes. Ihre Lage wird von den äußeren Umständen beim Wachsen des Krystalles sehr beeinflusst; sie haben daher bei den verschiedenen Individuen, ja bei den Einzelflächen einer einfachen Krystallform bei einem und demselben Individuum verschiedene Lage.

Die Zwillingsbildung begünstigt häufig die Ausbildung von Vizinalflächen an den Krystallflächen, die der Zwillingsgrenze anlagern. So sind z. B. die Würfel-
flächen von Durchwachsungszwillingen von Flußspat (vergl. Fig. 286, S. 109) oft

durch 4 vizinale Flächen eines Tetrakisheptaeders ersetzt, die eine ganz flache, auf die Würfelfläche aufgesetzte Pyramide bilden; ihre Spitze liegt dort, wo die Würfelfläche des einen Teilkristalles durch die Ecke des anderen unterbrochen wird. Die Vizinalflächen fehlen an jenen Würfelflächen, die kein Zwillingsäck tragen.

Die Ausbildung solcher Vizinalflächen erklärt die Erscheinung, daß die Winkel der Krystallflächen bei goniometrischer Messung etwas schwankend befunden werden, wenn statt des Reflexes einer einfachen Fläche der häufig lichtstärkere Reflex einer Vizinalfläche zu Messung verwendet wurde.

Für die Erkennung der Symmetrieklassen sind die Vizinalflächen bedeutsam, da man durch ihre Verteilung auf den Hauptflächen deren Symmetrie und somit die Symmetrie des Krystalles erkennen kann.

Es kommt bei Zwillingen vor, daß die einzelnen, voneinander wenig abweichenden Flächen verschiedenen Individuen angehören. Für diesen Fall ist auch der Ausdruck Polyedrie, welchen *Scacchi* für diese Erscheinung vorschlägt, verwendbar. Wenn man den Ausdruck Polyedrie auf die Erscheinung bei Zwillingen und mimetischen Krystallen beschränkt, dann verhält sich diese zu dem Auftreten der Vizinalflächen, wie die Zwillingsriefung zur Kombinationsriefung. Vizinale Flächen sind am Diamant, Aragonit, Adular, Danburit, Granat, Topas und vielen anderen Mineralen beobachtet worden.

Scacchi, Über Polyedrie, in deutscher Übertragung von *Rammelsberg*, Zeitschr. deutsch. geol. Ges., Bd. 15, S. 19. *Webskys* Abh., ebendas., S. 677. *Zepharovich* über Aragonit. Sitzungsber. der k. Akad. zu Wien, Bd. 71 (1875). *Schuster* über Danburit: *Tschermaks* Min. u. petrogr. Mitt., Bd. 5 und 6. *Wulff*, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 34, S. 461. *Beckenkamp*, ebendas., Bd. 36, S. 111. *Gaubert*, Bulletin de l. soc. minéralogique d. F., t. 27, S. 6. *A. Miers*, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 39, S. 220 (1904).

54. Zuweilen werden an den Krystallen auch unechte Flächen beobachtet. Sie sind von zweierlei Art. Man sieht nämlich nicht selten matte oder fast matte Flächen, die bei genauerer Beobachtung gar keine ebenen Elemente erkennen lassen, vielmehr bloß durch die Wiederholung feiner Kanten oder durch viele in derselben Ebene endigende kleine Ecken gebildet werden. Solche Flächen zeigen öfter eine Lage, welche der einer echten Krystallfläche entspricht, manchmal aber davon abweicht, wodurch schon Täuschungen veranlaßt wurden. Die zweite Art der unechten Flächen sind Abformungen. Wenn ein Krystall beim Fortwachsen an einen anderen, bereits fertigen Krystall anstößt, so formt er sich an diesem ab und so entstehen bisweilen glatte Flächen, deren Lage eine ganz zufällige ist. Da bei solcher Abformung öfter die feinsten Zeichnungen mit einer wunderbaren Schärfe wiederholt werden, so sehen diese unechten Flächen zuweilen den wahren Krystallflächen täuschend ähnlich.

Quarkrystalle zeigen nicht selten unechte Flächen, die von Calcitkrystallen abgeformt sind. Durch solche Abdrücke, die ungefähr die Lage 0001 haben, wurden schon manche Beobachter zu dem Glauben verleitet, die am Quarz bisher niemals nachgewiesene Endfläche gefunden zu haben.

55. Obwohl die Krystalle wesentlich von ebenen Flächen begrenzt sind, so kommen doch auch manchmal krumme Flächen vor. Dieselben sind entweder durch das Zusammentreffen vieler kleiner, ebener Flächen gebildet, wie man es an manchem Quarz, Desmin, Prehnit wahrnimmt; hier sind es Flächen an Krystallstöcken, deren Teilkristalle nicht vollkommen parallel stehen. Oder sie haben eine kontinuierliche Krümmung, wie an Krystallen von Gyps, Antimonit. Hier ist eine später eingetretene Biegung des Krystalles die Ursache. In beiden Fällen ist der unter der krummen Oberfläche liegende Körper des Krystalles aus nicht parallelen Anteilen aufgebaut. In anderen Fällen entspricht bei vollkommen einheitlichem Bau die Krümmung einer Folge von Vizinalflächen, die manchmal noch merkbar gegeneinander absetzen, bisweilen aber zu einer kontinuierlich gekrümmten Fläche verschmelzen wie am Gyps, Diamant. Wenn alle Kanten und Ecken abgerundet erscheinen, so bekommt der Krystall ein solches Ansehen, als ob er eine oberflächliche Schmelzung erlitten hätte, die Oberfläche erscheint geflossen, wie dies an manchem Bleiglanz vorkommt. Die im körnigen Kalke eingeschlossenen Krystalle von Augit, Hornblende, Apatit zeigen auch eine geflossene Oberfläche, die ganz unregelmäßig gekrümmt erscheint.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß an Krystallen, besonders an den im Gestein eingeschlossenen, bisweilen krumme und überhaupt unebene Flächen beobachtet werden, die Bruchflächen sind, und daß Krystalle nicht selten in zwei oder mehrere Stücke zerbrochen erscheinen.

56. Inneres der Krystalle und Individuen überhaupt. Die Bildungsweise bringt es mit sich, daß an vielen der größeren Krystalle der schichtartige Bau deutlich hervortritt. Die Erscheinung ist am einfachsten, wenn der Krystall bloß eine einzige äußere Schichte und einen inneren Kern unterscheiden läßt, welche beide aus derselben Mineralart bestehen. Solche Vorkommnisse nennt Kopp Krystalle von doppelter Bildung. Beispiele dafür sind Calcit, Fluorit; Calcitkrystalle zeigen einen dunkeln Kernkrystall mit der Form $(02\bar{2}1)$, während die Hülle das Grundrhomboeder $(10\bar{1}1)$ zeigt, Fig. 314; Fluoritkrystalle haben einen Kern von Oktaederform, die Hülle ist als Würfel ausgebildet. Einen Barytkrystall von doppelter Bildung stellt Fig. 315 dar.

Häufiger kommt der Fall vor, daß die Schale und der Kern dieselbe Flächenkombination darbieten, so daß die Schale eine genaue Wiederholung der Form des Kernes bildet. Beispiele sind wieder Calcit, Fluorit, aber auch Turmalin, Epidot u. a. m. In jenen Fällen, in welchen überhaupt Kernkrystalle bemerkt werden, zeigt sich oft der Kern anders gefärbt als die Hülle. Der Kern ist braun oder gelb, die Hülle farblos (Calcit), über einem farblosen Kern eine violette Hülle (Fluorit), über einem blauen Kern eine braune Schalenhülle (Turmalin), ein schwarzgrüner Kern mit hellgrüner Hülle (Epidot).

Fig. 314.

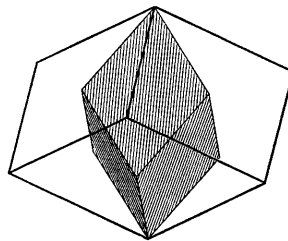
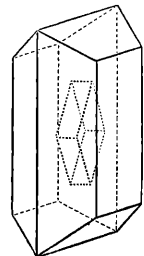


Fig. 315.



Viele der größeren Krystalle bestehen aus mehreren oder auch aus vielen Schichten desselben Mineralen, welche sich durch die verschiedene Reinheit und Durchsichtigkeit oder durch verschiedene Färbung voneinander unterscheiden. Quarz, Baryt, Flußspat, Turmalin liefern Beispiele. Manchmal wird die Schichtung farblos-er Minerale, wie die der Plagioklase, im Dünnschliffe durch die verschiedene Lichtbrechung erkannt oder sie wird erst bei der beginnenden Zerstörung deutlich, wie bei manchen Feldspaten. Zuweilen sind die Schichten bloß locker miteinander verbunden, indem sie durch äußerst dünne Lagen eines fremden Mineralen zum Teil getrennt erscheinen. In solchem Falle gelingt es bisweilen bei größeren Krystallen, dieselben in einen Kern und mehrere folgende parallele Schalen zu zerlegen, wie bei manchem Quarz (Kappenquarz), dessen Schichten mit Glimmerblättchen belegt sind. Am Wolframit, Vesuvian, Epidot sieht man diesen schaligen Bau ebenfalls nicht selten.

In den ebenmäßig ausgebildeten Krystallen ist jede Schichte überall von gleicher Dicke. So zeigt der Durchschnitt einer Gruppe von Melanitkrystallen (tesseral), Fig. 316, eine Abwechslung von braunen und gelben Schichten, deren jede überall gleich dick ist. (Nach Cohen, Sammlung von Mikrophotographien.) Langgestreckte säulenförmige Krystalle verdanken diese Ausbildung dem Umstande, daß jede Schichte, so weit sie die Säulenflächen bedeckt, sehr dünn, wo sie die Flächen der Endigung überzieht, sehr dick ist. In dem Durchschnitte eines Turmalinkrystalles (trigonal IV), Fig. 317,

Fig. 316.

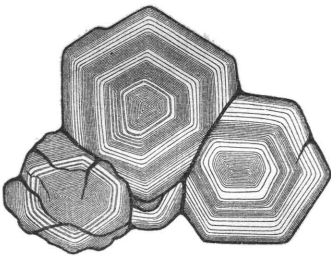


Fig. 317.



sind die seitlich angesetzten Schichten sehr dünn, jene auf den Rhomboederflächen des Endes angesetzten Schichten hingegen um vieles dicker. Bisweilen zeigt jede umlaufende Schichte, soweit sie kristallographisch gleiche Flächen überzieht, dieselbe, auf den davon verschiedenen Flächen aber eine andere Farbe. In dem letzterwähnten Turmalindurchschnitte zeigt

sich ein farblos-er Kern. Die darauffolgenden, die Prismenflächen überziehenden sehr dünnen Schichten sind blaßgrün, die an der Endigung auftretenden Schichten aber dunkelbraun. Im auffallenden Lichte zeigen derlei Krystalle ein schwarzes Ende (Mohrenköpfe).

Die Kernkrystalle und alle die geschichteten und schaligen Krystalle, welche von demselben Minerale gebildet werden, repräsentieren in gewissem Sinne eine parallele Verwachsung gleichartiger Individuen. Manche der Kernkrystalle und der geschichteten Krystalle stellen jedoch parallele Verwachsungen ungleichartiger Minerale dar, deren Verschiedenheit bisweilen durch den Unterschied in der Farbe kenntlich wird.

Ein Kern von schwarzem Biotit, umgeben von einer blassen Schicht von Muscovit oder ein Kern von Hypersthen, überwachsen von Augit (Hibsch) oder ein Kern von Eisenturmalin mit einer Hülle von Edelturmalin sind Beispiele von

Überwachsung verschiedenartiger Minerale von ähnlicher Form. Krystalle von Granat, Turmalin, welche einen mehrfachen Wechsel von verschiedenfarbigen Schichten zeigen, sind wiederholte Überwachsungen von untereinander verschiedenen Mineralarten gleicher Form.

Derlei Bildungen lassen sich in mannigfacher Art herstellen, so z. B. schöne Kernkrystalle, wenn Oktaeder von Chromalaun in eine Lösung von gewöhnlichem Kalialaun gelegt werden. Der dunkle Kern von Chromalaun erscheint mit einer farblosen Hülle gleicher Form bekleidet. Abwechselnde Schichten gleicher Form, aber verschiedener Beschaffenheit können dadurch erzeugt werden, daß man Bittersalzkrystalle abwechselnd in Bittersalzlösung und in solche Lösungen bringt, welche außer Bittersalz auch Nickel- oder Kobaltvitriol enthalten.

Die schichtartige Vereinigung mehrerer Arten oder Varietäten von gleicher oder ähnlicher Krystallform wird isomorphe Schichtung genannt. Bei der chemischen Untersuchung so gebauter Körper ergibt sich, wie begreiflich, kein einfaches Resultat, sondern man erhält ein Ergebnis, welches die Mischung aus mehreren einfachen Mineralen bestätigt. Die grobe Mischung, welche mit freiem Auge zu sehen ist, bietet jedoch alle Abstufungen bis zur feinen Schichtung, welche nur mittels des Mikroskops erkennbar wird, und diese geht in eine ganz gleichförmige Mischung über, in welcher keine Schichten und keine Verschiedenheiten mehr zu beobachten sind. Häufiger als die isomorphe Schichtung ist diese isomorphe Mischung, welche nur mehr aus dem Ergebnis der chemischen Analyse als solche erkannt wird.

Eine merkwürdige Bildung im Innern mancher Krystalle ist jenes Gefüge, das nach der Formähnlichkeit mit einer Sanduhr oder einem Stundenglas als Sanduhrstruktur bezeichnet wurde. Augitkrystalle, namentlich solche, die im Gestein eingeschlossen vorkommen, zeigen die Erscheinung sehr deutlich. Fig. 318 stellt eine Platte dar, die aus der Mitte eines solchen Augitkrystalles parallel der Längsfläche genommen ist. Man bemerkt daran, daß der Krystall aus parallelen, umlaufenden Schichten aufgebaut ist, daß aber jene Schichten, die den Querflächen (100) parallel sind und im Bilde rechts und links erscheinen, dunkler, und zwar violett gefärbt sind, während jene Schichten, die der oberen und unteren Umrißlinie parallel sind, heller, und zwar gelblich gefärbt erscheinen. Demnach ergibt sich eine Zusammenfügung von zwei hellen und zwei dunkeln Feldern in demselben Schnitte. Die Erscheinung wurde auch an Krystallen von Zinnstein, Baryt beobachtet.

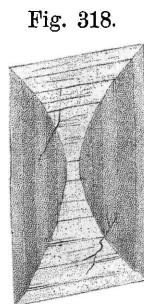


Fig. 318.

Pelikan hat solche Bildungen nachgeahmt, indem er, den Versuch von Sénarmont wiederholend, Lösungen von Strontiumnitrat mit Kampescheholzextrakt versetzte und monokline Krystalle erhielt, in welchen bloß die den Längsprismen parallelen Schichten den Farbstoff angenommen hatten. Seither wurden auch an anderen künstlichen Krystallen, z. B. an solchen von Gyps, derlei Erscheinungen beobachtet. Der Farbstoff ist hier ein Fremdkörper, der von einzelnen gleichen Flächen angenommen, von anderen zurückgewiesen wird.

Becke hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß der hier genannten Struktur eine allgemeinere Bedeutung zukommt. Der Krystall wächst bei gleichförmiger Bildung durch den Ansatz paralleler Schichten über jeder Krystallfläche. Jene Schichten, die sich über derselben Fläche auflagern, bilden zusammen genommen eine einfache Pyramide, die Anwachspyramide, deren Spitze im Keimpunkt des Krystalles liegt, deren Basis die zuletzt gebildete äußere Fläche ist. Demnach erscheint jeder Krystall aus ebenso vielen Anwachspyramiden zusammengesetzt, als er Flächen zeigt, und die Anwachspyramiden, welche gleiche Flächen

Fig. 319.

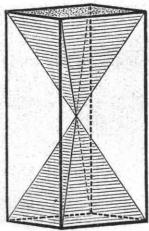
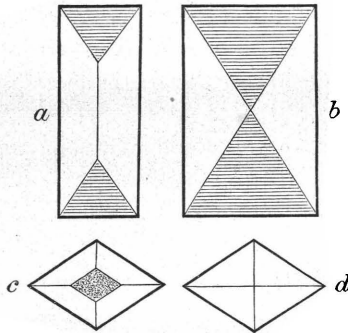


Fig. 320.



zur Basis haben, werden sich gleich verhalten, ungleiche Anwachs- pyramiden können Verschiedenheiten darbieten. Hat ein Krystall die Form eines rhombischen Prismas, wie in Fig. 319, so besteht derselbe aus zwei gleichen Anwachs- pyramiden, deren Basen die End- flächen sind, und vier gleichen Anwachs- pyramiden, die zu den vier Prismaf lächen gehören. Wird durch einen solchen Krystall ein Schnitt parallel der Querfläche in geringer

Tiefe geführt, so ergibt er die Fig. 320 *a*, in welcher die ersteren Anwachs- pyramiden zwei Dreiecke, die letzteren zwei Trapeze liefern. Ein dem vorigen paralleler Schnitt durch die Mitte des Krystalles gibt die Sanduhrform *b*. Ein Schnitt, parallel der Endfläche (001) in geringer Tiefe geführt, wird der Figur *c* entsprechen, die in der Mitte einen Rhombus enthält, welcher ein Durchschnitt der Anwachs- pyramide 001 ist, während die vier seitlichen Trapeze von den vier Anwachs- pyramiden der Flächen (110) herrühren. Wird ein Schnitt parallel dem vorigen durch die Mitte des Krystalles geführt, so ergibt sich die Figur *d* mit vier gleichen Dreiecken, die den vier Anwachs- pyramiden (110) entsprechen, und dies leitet auf keine Sanduhrform, weil die Dreiecke gleichen Anwachs- pyramiden entsprechen, also einander gleich sind.

Früher wurden schon Fälle angeführt, in welchen bestimmte, untereinander gleiche Krystallflächen sich mit einem fremden Mineral, z. B. Chlorit, bedecken, alle anderen aber nicht [47]. Der entsprechende Vorgang vollzieht sich bei der Bildung der Sanduhrstruktur, bei welcher gleiche Anwachs- pyramiden einen Stoff aus der Umgebung annehmen, die von jenen verschiedenen aber ihn zurückweisen. Wenn aber der von bestimmten Krystallschichten angenommene Stoff sich nicht durch eine Färbung bemerklich macht, so wird eine Sanduhrstruktur vorhanden sein, ohne daß sie kenntlich wird und, allgemein gesagt, es werden voraussichtlich Krystalle vorkommen, die ganz homogen erscheinen, jedoch aus Anwachs- pyramiden von etwas verschiedener Beschaffenheit bestehen. Dies wird sich dann bemerklich machen, wenn Schnitte oder Spaltebenen, welche durch einen einfachen Krystall gelegt werden, an verschiedenen Stellen ein ungleiches Verhalten zeigen und es

wird noch mehr hervortreten, wenn Schnitte in verschiedener Tiefe oder in verschiedener Richtung aus einem solchen Krystall genommen und optisch geprüft oder lösenden Agenzien ausgesetzt werden. (S. optisch-anomale Krystalle und anomale Ätzfiguren.)

Lit. über Kernkrystalle: Kopp, Ann. d. Chemie, Bd. 94, S. 111. Tschermak, Sitzb. d. Wiener Akad., Bd. 40, S. 109. Isom. Schichtung: C. v. Hauer, Verhandl. d. geol. Reichsanst., 1880, S. 20, 181. Über Anwachspyramiden: Becke, Lotos v. 26. Nov. 1892. Blumrich in Tschermaks Min. u. petr. Mitt., Bd. 13, S. 239. Pelikan, ebenda, Bd. 13. Derselbe, über den Schichtenbau, ebenda, Bd. 16, S. 1. Hibsich, ebenda, Bd. 17, S. 285.

57. Durch das netzartige Wachsen oder durch bestimmte Unterbrechungen des schichtförmigen Fortwachsens entstehen im Innern der Krystalle und der Individuen überhaupt Lücken mit ebenflächigen Begrenzungen, es bilden sich regelmäßige Poren und Höhlungen. Wenn dieselben von Krystallflächen begrenzt sind, so werden sie auch negative Krystalle genannt. Im Steinsalz werden würfelförmige Hohlräume häufig beobachtet, im Quarz erkennt man zuweilen negative Krystalle, welche dieselbe Form haben wie der ganze Krystall. Im Eis, im Gyps ist die Erscheinung auch nicht selten. Die Höhlungen und Poren sind aber viel häufiger von krummen Flächen gebildet, sie erscheinen demnach kugelförmig, eiförmig oder überhaupt rundlich, öfter auch gedehnt und verzweigt, wie beim Quarz und Topas.

Die mikroskopischen Untersuchungen haben gezeigt, daß derlei Poren in Krystallen eine sehr verbreitete Erscheinung sind. Sie liegen, entweder unregelmäßig verteilt oder linear angeordnet, in Schichten zusammengedrängt oder zu Schwärmen gruppiert. Manche Krystalle, wie die Hauyne von Melfi, sind besonders reich daran.

58. Einschlüsse. Das Auftreten von fremden Körpern in den Individuen ist eine sehr häufige Erscheinung, weil beim Wachsen der letzteren die im Wege liegenden starren Körper umhüllt, ferner Teile der Mutterlauge umschlossen, ja sogar die Bläschen von Gasen und Dämpfen, welche in der Mutterlauge absorbiert waren, bei der Krystallbildung umwachsen werden.

Die Einschlüsse lassen sich mit Gästen vergleichen, welche der Krystall als ihr Wirt beherbergt. Der Ausdruck Wirt, auch bezüglich der Parasiten üblich, wurde von Rosenbusch in Vorschlag gebracht. Die eingeschlossenen Körper können entweder so groß sein, daß sie noch mit freiem Auge oder, wie man sagt, makroskopisch wahrgenommen werden, oder sie können so klein sein, daß sie nur mit Hilfe des Mikroskopes erkannt werden, bis zu der Grenze, da sie auch bei starker Vergrößerung nicht mehr deutlich gesehen werden. Die Einschlüsse zeigen alle Aggregatzustände, indem gasförmige, tropfbarflüssige und starre Körper als solche vorkommen. Die Lagerung und Verteilung ist meistens eine unregelmäßige; zuweilen sind aber krystallisierte Einschlüsse regelmäßig eingelagert, was eine die orientierte Verwachsung ungleichartiger Krystalle fortsetzende Erscheinung ist.

Manche Individuen zeigen, wie zuvor bemerkt wurde, schon bei der Betrachtung mit freiem Auge regelmäßige, öfter jedoch unregelmäßige Höhlungen,

die ganz leer zu sein scheinen, welche aber selbstverständlich nicht absolut leer sind, sondern mit einem Dampfe oder einem Gase erfüllt sein müssen (Dampfporen, Gasporen). So z. B. erkennt man in manchen Steinsalzkrystallen würfelförmige Höhlungen, die leer erscheinen, jedoch ein Gas enthalten, welches nach Bunsens Untersuchungen vorherrschend Sumpfgas und Stickstoffgas ist. Da es im komprimierten Zustande darin vorhanden ist, so entwickelt sich dasselbe beim Auflösen mit knackendem Geräusch. Knistersalz von Wieliczka. In manchen Stücken des Sylvins von Staßfurt bewirkt eingeschlossenes Schwefelwasserstoffgas dieselbe Erscheinung (Schrumpfung).

Die Höhlungen, welche in den verschiedenen Mineralen beobachtet werden, sind aber nicht selten zum Teil mit einer Flüssigkeit, zum Teil mit Dampf gefüllt, welcher als bewegliche Blase auftritt. Steinsalzkrystalle und Quarzkrystalle, welche Höhlungen zeigen, lassen öfter wandernde Blasen erkennen. Beim Herumdrehen wendet sich die Blase immer so, daß sie schließlich die höchste Stellung in der Höhlung einnimmt, während gleichzeitig die enthaltene Flüssigkeit nach abwärts sinkt.

Starre Körper sieht man in den Krystallen am häufigsten. Sie erscheinen oft ebenfalls krystallisiert in der Form von Säulen oder von Nadeln, Fasern, Blättchen und Schuppen oder auch wie ein grober oder wie ein feiner Staub. Oft stecken die Einschlüsse zum Teil im Krystall, zum Teil ragen sie aus demselben hervor, oder sie erscheinen dem Krystall aufgestreut. Nicht selten erkennt man im Innern des Krystalls eine schichtartige Verteilung derselben, z. B. Chlorit oder Glimmer in parallelen Schichten in Quarzkrystallen. Zuweilen sind die Einschlüsse in solcher Anzahl vorhanden, daß die Menge derselben überwiegt und der Krystall kaum noch seinen Zusammenhang bewahrt, wie dies zuweilen beim Quarz vorkommt, welcher ganz mit Chlorit erfüllt erscheint. Der Quarz in der durchsichtigsten Abänderung als Bergkrystall, ist jenes Mineral, welches die verschiedenartigsten Einschlüsse unter den mannigfaltigsten Erscheinungen darbietet. Hornblende in feinen Fasern, Rutil und Göthit in feinen Nadeln, Glimmer oder Eisenglanz in Schüppchen, Chlorit oder Pyrit als feiner Staub sind häufig im Bergkrystall. In früherer Zeit standen Bergkrystalle, welche derlei Einschlüsse enthalten, bei den Sammlern in hohem Werte. Auch der Calcit ist oft reich an Einschlüssen. Einen hierhergehörigen Fall hat man an dem sogenannten krystallisierten Sandstein, der aus Calcitkrystallen besteht, welche ungemein viel Quarzsand einschließen. Gyps, Baryt bilden auch derlei Krystalle. Die verschiedenen Feldspate zeigen sich ebenfalls reich an deutlich erkennbaren Einschlüssen. Wenn die Krystalle in einer glasigen Masse, z. B. im Obsidian oder Pechstein liegen, so findet sich oft auch im Innern etwas von dem Glas eingeschlossen.

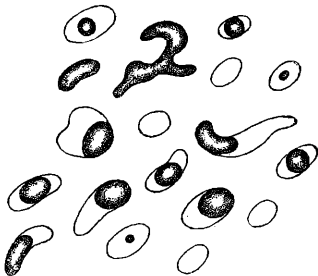
Eine regelmäßige Verteilung der Einschlüsse sieht man in einem Feldspat, dem Sonnenstein von Tvedestrand, worin metallähnlich glänzende Blättchen von Hämatit untereinander parallel eingelagert sind und zu gleicher Zeit glänzen, ebenso im Carnallit, ferner in dem Dolomit vom Wildkreuzjoch, worin Fasern und Blättchen von Nemaphyllit den Rhomboederkanten parallel gelagert sind, und in mehreren anderen Fällen.

Über makroskopische Einschlüsse handeln: Blum, G. Leonhard, Seyfert und Söchting: Einschlüsse von Mineralen in kryst. Mineralen, Harlem, 1854. Söchting: Die Einschlüsse in kryst. Mineralen, Freiberg, 1860. Kennigott: Mineralog. Notizen, Sitzungsber. der Akad. zu Wien, 1852—1855. Über Knistersalz: Bunsen, Pogg. Ann., Bd. 83, S. 251. Sonnenstein: Tertsch in Tschermaks Mineralog. und petrogr. Mitt., Bd. 21, S. 248. Nemaphyllit: Focke, ebenda, Bd. 21, S. 322. A. Johnsen, Centralbl. f. Min. u. s. w. 1909, S. 168, 1911, S. 369.

59. Mit Hilfe des Mikroskopes läßt sich das Auftreten der Einschlüsse in den Krystallen weiter verfolgen und als eine in fast allen Krystallen wahrnehmbare Erscheinung erkennen. Dabei stellt sich insofern ein unerwartetes Resultat heraus, als nunmehr die Menge der gasförmigen und flüssigen Einschlüsse viel größer erscheint, als man dies nach den Beobachtungen mit freiem Auge erwarten sollte.

Diese haben selbstverständlich die Gestalt der Hohlräume, sie sind also entweder in den negativen Krystallen enthalten oder sie sind kugelig, eiförmig, unbestimmt rundlich, verzweigt oder schlauchartig gedehnt. Fig. 321. Die Größe ist verschieden bis zu derjenigen, in welcher sie auch bei der stärksten Vergrößerung nur mehr als feine Pünktchen wahrgenommen werden. Durch das außerordentlich zahlreiche Auftreten geben solche Einschlüsse dem Krystall ein trübes bis milchiges Aussehen. Die trüben Minerale, in welchen auch bei starker Vergrößerung keine derlei Einschlüsse wahrgenommen werden, dürften demnach solchen kleinen Hohlräumen, welche eine unter der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegende Größe haben, diese Beschaffenheit verdanken. Die kleinen Blasen sind entweder ganz unregelmäßig verteilt oder in Häufchen versammelt, welche nicht selten verzweigt erscheinen, Fig. 322, oder sie sind in Streifen angeordnet, oder endlich auch in Schichten angeordnet, Fig. 323. Diese Schichten entsprechen sodann den Zuwachs-

Fig. 321.



Mikroskopische Einschlüsse in Quarz nach Zirkel.

Fig. 322.

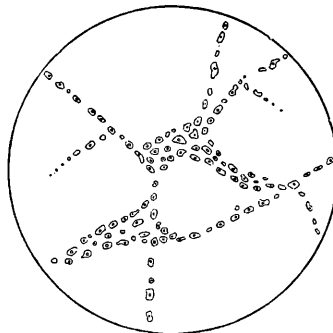
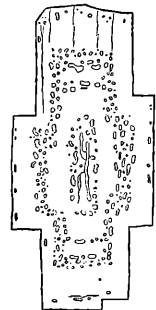


Fig. 323.



Einschlüsse in Feldspat.

schichten der Krystalle und lassen schließen, daß während des Wachstums die Entwicklung der Bläschen in der Mutterlauge periodisch erfolgte. Die Häufigkeit der gasförmigen und flüssigen Einschlüsse ist nach der Mineralgattung verschieden, indem manche Minerale unter gleichen Umständen mehr von solchen Einschlüssen aufnehmen als andere. Dies hat Sorby durch Krystallisierenlassen von Alaun und

Kochsalz aus derselben Lösung gezeigt, wobei die Krystalle des letzteren sehr reich, des ersteren sehr arm an flüssigen Einschlüssen gebildet wurden. Es ist dies leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß das Kochsalz ein eigentümlich treppenartiges, also lückenhaftes Fortwachsen, der Alaun hingegen ein solides Wachstum zeigt.

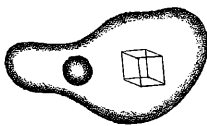
Die kleinen Hohlräume haben entweder breite dunkle Konturen, und in diesem Falle enthalten sie gasförmige Stoffe, oder sie zeigen schmale, zarte Konturen, und dann sind sie von einer Flüssigkeit erfüllt, oder aber sie zeigen eine kleine Blase, eine Libelle, wodurch das gleichzeitige Vorhandensein von beiderlei Stoffen erkannt wird. Durch Neigen des Präparates, durch Erschütterung desselben auf dem Tisch des Mikroskopes kann man die Libelle zuweilen zum Wandern bringen, oft aber bleibt sie unbeweglich oder sie wird erst beim Erwärmen beweglich.

Eine der seltsamsten Erscheinungen im Mineralreiche ist das freiwillige Wandern und Tanzen mancher Libellen, welches in manchen Quarzindividuen der Gesteine wahrgenommen wird. In solchem Falle beobachtet man bei vollständiger Ruhe des Präparates und bei gleichbleibender Temperatur ein beständiges Umhergehen oder Umhertanzen der Libelle in dem Hohlraum. Hier dreht sich also Dampf und Flüssigkeit kontinuierlich herum und es entsteht der Eindruck einer ewigen automatischen Bewegung, welche in den unzähligen kleinen Hohlräumen der Krystalle in weitverbreiteten Gesteinen stattfindet. Die Erscheinung wird als Brownsche Molekularbewegung aufgefaßt, als deren Ursache die Wärme gilt.

Über Einschlüsse und deren Bestimmung handeln: Brewsters Abhandlungen in dem Edinburgh philos. journ. und den Transactions of the roy. soc. Edinb., aus den Jahren 1813—1845. Sorby, Quarterly journ. of the geol. soc. 14. S. 473 (1858). Zirkel, Die mikroskop. Beschaffenheit der Minerale und Gesteine, 1873, und Lehrbuch der Petrographie, 2. Aufl., Bd. 1, S. 175. Erhard und Stelzner, Tschermaks Min. u. petrogr. Mitt., Bd. 1, S. 450.

60. Die bisherigen Untersuchungen ergaben das Resultat, daß die gasförmigen Einschlüsse meist aus Wasserdampf, Kohlensäure, Stickstoff-, Sauerstoffgas und aus Kohlenwasserstoffen bestehen, während die flüssigen Einschlüsse zumeist Wasser und wässrige Lösungen sind. Die Einschlüsse, welche diese Flüssigkeiten enthalten, zeigen beim Erwärmen keine irgend auffallenden Erscheinungen. Zirkel beobachtete aber in Quarz Einschlüsse mit Libellen, die einen würfelförmigen Steinsalzkrystall neben der Libelle schwimmend zeigten, Fig. 324.

Fig. 324.



Solche Einschlüsse zeigen beim Erwärmen eine vollständige Auflösung des Krystalles und nach dem Erkalten eine Neubildung eines oder mehrerer Krystalle. Daß hier Steinsalz vorliege, wurde auch dadurch bestätigt, daß der Quarz einerseits spektralanalytisch untersucht, die Natriumreaktion gab, andererseits aber nach dem Pulvern unter Wasser in der Lösung das

Chlor nachgewiesen werden konnte.

Unter den flüssigen Einschlüssen waren schon Brewster diejenigen aufgefallen, welche sich durch eine schwächere Lichtbrechung und durch eine starke Expansion bei der Erwärmung auszeichneten. Diese Angaben brachten später

Simmler auf die Vermutung, daß die Flüssigkeit liquide Kohlensäure sein dürfte. Im Jahre 1869 aber gelang es Vogelsang und Geißler, durch sinnreiche Versuche darzutun, daß jener merkwürdige Körper in der Tat aus flüssiger Kohlensäure bestehe. Dies wurde nicht nur daraus erkannt, daß jene Einschlüsse dieselben Expansionserscheinungen darbieten, welche Thilorier und Andrews an der flüssigen Kohlensäure beobachtet hatten, sondern beim Erhitzen der Quarz- und Topasstücke, welche solche Einschlüsse zeigten, wurde ein Gas erhalten, welches bei der spektralen Untersuchung sich wie Kohlensäure verhielt und, in Kalkwasser geleitet, eine Trübung durch Bildung von kohlensaurem Kalk erzeugte. Außer im Quarz wurde die flüssige Kohlensäure durch Sorby im Saphir und durch Zirkel u. a. im Augit, Olivin und in den Feldspaten verschiedener, auch basaltischer Gesteine erkannt. Folgendes Verhalten dieser Flüssigkeit ist sehr charakteristisch: Sie dehnt sich, wenn das Präparat gelinde erwärmt wird, so stark aus, daß die Libelle rasch verschwindet und der Hohlraum vollständig ausgefüllt erscheint. Beim nachherigen Abkühlen kehrt die Libelle mit einem Schlage wieder zurück, oder es entstehen statt der früheren einen Blase mehrere kleine auf einmal, wodurch eine kochende Bewegung der Flüssigkeit hervorgerufen wird. Während die wässerigen Einschlüsse auf eine wasserhaltige Mutterlauge schließen lassen, führen die Einschlüsse von flüssiger Kohlensäure darauf, daß die Gesteine, in welchen sie enthalten sind, unter hohem Drucke gebildet sein müssen.

Das Vorkommen von Steinöl in der Form negativer Krystalle im Steinsalz wurde von Pelikan beschrieben.

Zirkel: Jahrb. f. Min., 1870, S. 802. Vogelsang und Geißler: Pogg. Ann., Bd. 137, S. 56 und 265. Pelikan, Tschermaks Mineralog. und petrogr. Mitt., Bd. 12, S. 483.

61. Die starren Minerale, welche als Einschlüsse vorkommen, sind teils krystallisiert oder krystallinisch, teils amorph. Die letzteren verhalten sich bei der mikroskopischen Beobachtung zum Teil geradeso wie Flüssigkeiten. Sie füllen negative Krystalle oder kleine Blasen und rundliche Hohlräume ganz oder zum Teil, erscheinen also mit oder ohne Libelle. Die Libelle bewegt sich selbstverständlich niemals und verändert sich auch beim Erwärmen nicht. Da es aber Flüssigkeitseinschlüsse von gleichem Verhalten gibt, so könnte es manchmal schwer zu entscheiden sein, ob man einen flüssigen oder einen starren amorphen Einschluß vor sich habe, doch gibt sodann die Natur der Umgebung hinreichende Anhaltspunkte.

Die Art der Verteilung ist bei den starren, amorphen Einschlüssen dieselbe wie bei den Flüssigkeiten. Sie kommen bald unregelmäßig, bald schichtartig angeordnet vor. Häufig sind sie im Innern des Krystalles vorherrschend, Fig. 325, Augit. Ein Beispiel regelmäßiger Verteilung bietet mancher Leucit (Fig. 326 nach Zirkel), welcher in seiner farblosen Masse braune Glaseinschlüsse mit Libelle beherbergt. Die letzteren sind Ausfüllungen negativer Krystalle und dabei schichtförmig verteilt, so daß sie im Durchschnitte kranzförmig angeordnet erscheinen.

Die starren amorphen Einschlüsse in Krystallen, welche in frischen vulkanischen Gesteinen, wie Obsidian, Perlit, Basalt auftreten, sind als glasartige (hyaline)

Partikel anzusehen und als Beweis der Bildung des Wirtes aus dem Schmelzflusse zu betrachten.

Die krystallisierten oder krystallinischen Einschlüsse erscheinen als vollständige Krystalle oder als Körner, Nadeln, Blättchen, Schüppchen, endlich als feiner Staub. Oft sieht man dieselben Formen, wie sie bei den Mikrolithen beschrieben wurden. Meistens sind diese Einschlüsse ganz unregelmäßig verteilt, öfter aber ist eine parallele oder schichtförmige, überhaupt eine regelmäßige Anordnung und Interponierung zu bemerken. Zuweilen sind die Einschlüsse so an-

Fig. 325.

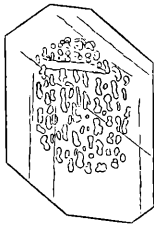


Fig. 326.

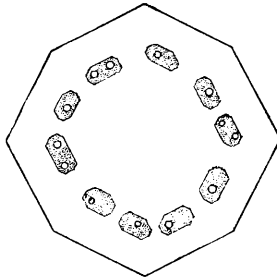
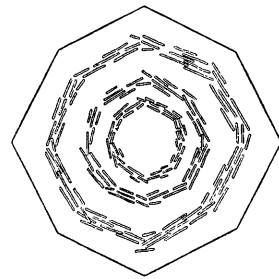


Fig. 327.



geordnet, daß sie die Grenzen der Anwachspyramiden bezeichnen. Beispiele sind Granat, Staurolith, Gyps. Oder die Anwachspyramiden rasch wachsender Krystallflächen sind von Einschlüssen erfüllt, die übrigen frei davon, wie beim Andalusit (Chiasolith). Eine parallele Anordnung von Calcitblättchen zeigt mancher Diallag, welchem dadurch ein weißlicher Schiller verliehen wird. Der Leucitkrystall, Fig. 327, zeigt schichtartige Einlagerungen von Mikrolithen.

Die krystallinischen Einschlüsse kommen aber öfter nicht bloß zufällig parallel gelagert und nicht bloß mit einer Fläche parallel gelagert vor, sondern sie zeigen sich in manchen Fällen gegen den Wirt krystallographisch orientiert, so wie dies bei den orientierten Verwachsungen [47] angegeben wurde. Ein Beispiel ist das Auftreten der Einschlüsse im Bronzit, Fig. 328. Es sind diese sowohl nadelförmige Krystalle als auch dünne Blättchen, deren Form auf das rhombische Krystallsystem schließen läßt. Beiderlei Einlagerungen zeigen die Kante einer Zone zur c -Axe des rhombischen Bronzits parallel und außerdem eine Fläche dieser Zone zur Fläche 100 des Bronzits parallel. Die Blättchen verleihen dem Bronzit einen metallartigen Schiller auf 100. Ein anderes Exempel gibt der Glimmer (Phlogopit) von Burgess in Kanada, in welchem, parallel der Endfläche 001, unzählige, meist sehr schmale Individuen eines anderen Mineralen in der Weise eingelagert sind, daß ihre Langseiten zugleich den Flächen (110), zuweilen auch den Längsflächen (010) parallel sind, wodurch eine Anordnung unter 60° , 120° , zuweilen auch unter 90° erfolgt (Fig. 329). Tafeln dieses Glimmers lassen beim Durchsehen eine Lichtflamme als prächtigen sechsstrahligen Stern erscheinen (Asterismus). Orientierte Interponierungen zeigen auch der Eläolith, mancher Labradorit u. a. m. In manchen Fällen entstehen diese Einschlüsse erst nachträglich im Innern des Wirtes.

Eine besondere, hierhergehörige Erscheinung ist die parallele Durchwachsung verschiedener Feldspate. Früher wurde schon erwähnt, daß Krystalle von Orthoklas zuweilen von Albitkrystallen in paralleler Stellung besetzt und bekleidet werden. Der Albit findet sich aber bei gleicher krystallographischer Orientierung auch im Innern vieler Orthoklaskrystalle in der Form von Fasern und Blättchen, welche nach der aufrechten Axe gestreckt sind. Wird von einem solchen Orthoklas-

Fig. 328.

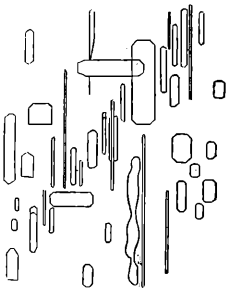


Fig. 329.

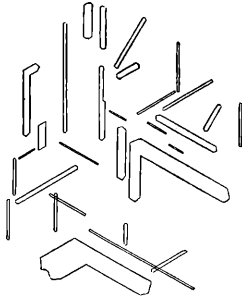
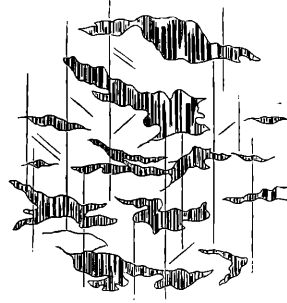


Fig. 330.



krystall ein dünnes Blättchen parallel der Endfläche abgespalten, so zeigt sich schon bei schwacher Vergrößerung die Einschaltung von Albit, Fig. 330, indem die langgestreckten Durchschnitte des letzteren sich durch feine Zwillingsriefung hervorheben.

Zirkel, Lehrb. d. Petrographie, 2. Aufl., Bd. 1, S. 162. Rosenbusch-Wülfing, Mikroskop. Physiographie d. Minerale, 4. Aufl., I., 1, S. 374. Abbildungen in Cohen, Sammlung von Mikrophotographien.

62. Alle die verschiedenen starren Einschlüsse kommen bisweilen in Krystallen in so großer Menge vor, daß sie dem Wirt eine ihm sonst fremde Farbe verleihen. So z. B. wird der Stilbit durch viele Blättchen und Körnchen von Eisenglanz rot gefärbt, die Feldspatkrystalle in den Gesteinen erhalten durch Einschlüsse von Augit oder von Magnetit eine grüne oder eine schwärzliche Farbe u. s. w. Manche Minerale beherbergen, wo immer sie vorkommen, stets eine sehr große Menge von Einschlüssen, so daß sie im isolierten, im reinen Zustande kaum bekannt sind, wie der Staurolith. In solchem Falle ist es fast nicht möglich, das Mineral für eine chemische Untersuchung rein zu erhalten und dann verhindern die Einschlüsse die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des reinen Mineralen, während sie in anderen Fällen, da sie wohl in erheblicher, aber nicht übergroßer Menge vorhanden sind, das Resultat der Analyse stark beeinflussen und für denjenigen unverständlich machen, welcher das Vorhandensein der Einschlüsse nicht vermutet. H. Fischer hat bei manchen Mineralen auf diesen Umstand aufmerksam gemacht¹⁾ und den Einfluß der Einschlüsse auf das Ergebnis der Analyse besprochen.

¹⁾ Kritische mikroskopisch-mineralogische Studien, Freiburg i. B., 1869, und zwei Fortsetzungen 1871 und 1874.

Leider läßt sich nur ein Teil, freilich der größere Teil der Minerale, in die Form durchsichtiger Blättchen bringen, also im durchfallenden Lichte mikroskopisch untersuchen. Daher ist die feinere Textur und das Vorhandensein der Einschlüsse in den vollständig undurchsichtigen (opaken) Mineralen bisher noch wenig bekannt, und aus diesem Grunde ist bei der Analyse solcher Minerale doppelte Vorsicht geboten. Hier läßt sich aber durch Anschliffe und eine zweckmäßige mikroskopische Untersuchung im auffallenden Lichte schon vieles leisten. Diese zeigt, daß in den opaken Mineralen die fremden Einschlüsse in derselben Art und Verteilung vorkommen wie in allen übrigen Mineralen, obwohl sich dieselben nicht bis zu solcher Kleinheit verfolgen lassen, wie bei der Beobachtung im durchfallenden Lichte.

63. Strukturlehre. Die Minerale bilden häufig Zusammenfügungen von Individuen derselben Art und Aggregate, welche keine Gesetzmäßigkeit darbieten, aber sowohl in ihrer Gesamtform als auch in ihrem Gefüge manches Bestimmte zur Erscheinung bringen, daher für die verschiedenen Arten der Aggregation seit langer Zeit eigene Bezeichnungen angewendet werden.

Manche Aggregatformen sind für einzelne Mineralgruppen charakteristisch und erleichtern die Erkennung, andere sind allgemeinerer Art und finden sich an den verschiedensten Mineralen. Die äußere Form und der innere Bau hängen mit dem Vorkommen, der Natur der Umgebung, mit der Gestalt des Raumes, in dem sich die Aggregate gebildet haben, und mit allen Umständen ihrer Entstehung zusammen, daher die Beobachtung dieser zufällig erscheinenden Begrenzungen für die Beurteilung der Bildungsweise von wesentlicher Bedeutung ist.

64. Krystallgruppe. Die Krystalle derselben Art finden sich teils einzeln, teils regelmäßig miteinander verbunden, wie dies bei den parallelen Verwachsungen und Zwillingen bemerkt wurde, teils erscheinen sie unregelmäßig verbunden, so daß eine krystallographische Gesetzmäßigkeit in ihrer Vereinigung nicht zu erkennen ist, wenn auch äußerlich Formen zu stande kommen, welche man im gewöhnlichen Leben als regelmäßig bezeichnen würde. Diese nicht gesetzmäßig gebildeten Gesellschaften werden als Gruppen und als Drusen unterschieden.

Eine Krystallgruppe ist die Vereinigung mehrerer oder vieler Krystalle in der Art, daß dieselben einander gegenseitig zur Stütze dienen. Wenn die ganze Gruppe keinen Anwachspunkt zeigt, wird sie eine freie Gruppe genannt, dagegen eine halbfreie, wofern der Anfangspunkt der Gruppe aufgewachsen erscheint.

Die freien Gruppen sind schwebend gebildet, z. B. Gruppen von Schneekrystallen in der Luft, Gruppen von Gypskrystallen im Ton. Die halbfreien sind meistens schon ursprünglich sitzend gebildet, indem der erste Ansatz von Krystallen auf einer Unterlage seine Stütze fand, während die später gebildeten sich über diesen aufbauten. Infolgedessen erscheinen manche dieser Gruppen gestielt. Gruppen von Calcit, Buntbleierz.

Die Gesamtform der Gruppe ist öfter eine so charakteristische, daß man selbe durch ein Wort scharf bezeichnen kann. So kommen kugelförmige Gruppen,

welche wie zusammengerollte Igel aussehen, am Gyps vor, kugelige, nierenförmige und pilzförmige am Pyrit. Tafelförmige Krystalle bilden zuweilen radförmige Gruppen, wie mancher Glimmer, oder fächerförmige oder keilförmige wie der Prehnit, auch rosettenförmige, wie der Eisenglanz (Eisenrosen). Die säulenförmigen Krystalle liefern öfter sternförmige Gruppen, wie sie am Gyps vorkommen und mikroskopisch an den Mikrolithen zu sehen sind, oder sie bilden zylindrische Gruppen wie am Aragonit, gestielte, büschelförmige Gruppen am Malachit, Aragonit oder bündelförmige am Desmin u. s. w. An solchen Gruppen zeigen die Krystalle öfter den Parallelismus einzelner Kantenrichtungen; sie bilden dadurch Übergänge zu halbregelmäßigen Verwachsungen.

65. Krystalldruse. Darunter versteht man eine unregelmäßige Vereinigung von Krystallen, welche nebeneinander sitzen und auf einer gemeinschaftlichen Unterlage ihre Stützen finden. Oft sind die Drusen bloß die auskrystallisierten Enden der Unterlage. Stängelig oder körniger Kalkspat endet in einer Druse von Kalkspatkrystallen, körniger Bleiglanz in einer Druse von Bleiglanzkrystallen. Ein gemengtes Gestein, wie der Granit, zeigt bisweilen auf Klüften die Erscheinung, daß die Gemengteile in Krystallen endigen und eine gemischte Druse von Feldspath und Quarz hervorbringen. In allen diesen Fällen haben die Krystalle, aus welchen die Druse besteht, gleichsam ihre Wurzeln in der Unterlage (autochthone Druse). Häufig aber ist die Unterlage eine fremdartige. Die Krystalle sitzen ganz unvermittelt auf einer Unterlage von anderer Art (heterochthone Druse). Drusen von Schwefelkies, auf einer Unterlage von Quarz, Drusen von Gyps, auf einer Unterlage von Ton, sind Beispiele.

Die Drusen haben äußerlich öfter Formen, welche, von der Gestalt der Unterlage abhängig, einen bestimmten Eindruck hervorrufen. Halbkugelige, nierenförmige, scheibenförmige, keulige, zylindrische Gestalten kommen nicht selten vor. Drusen, welche durch das Herabsickern einer Lösung entstanden sind, haben tropfsteinartige (stalaktitische) Formen. Drusen, welche einen rundlichen Hohlraum auskleiden, werden Geoden oder auch Hohldrusen genannt. Hohldrusen von Quarz, Natrolith, Chabasit, Calcit sind Beispiele. Solche Bildungen finden sich in Melaphyren und Basalten, welche von diesem Vorkommen die Bezeichnung Mandelsteine erhalten haben. Drusen von kleinen und untereinander ziemlich gleichgroßen Krystallen bilden drusige Krusten, oder, wenn die Dicke geringer ist, Überzüge und Drusenhäute, welche besonders auffallend sind, wofern sie größere Krystalle überziehen, die schon früher gebildet waren, wobei die Form der letzteren noch deutlich erkennbar ist.

So finden sich Überzüge von Quarz auf Bleiglanz, von Schwefelkies auf Barytkrystallen. Kann man die Kruste oder Drusenhaut von den unterhalb gelegenen Krystallen abheben, oder ist von Natur aus die krystallisierte Unterlage entfernt, so erscheinen auf der Unterseite die Hohldrücke der abgeformten Krystalle. Man hat derlei Überzüge und Umhüllungen, ob sie nun krystallinisch oder amorph sind, als Epimorphosen bezeichnet.

66. Formen krystallinischer Minerale. Wenn Individuen eines Mineralen bei der Krystallisation an der Ausbildung ihrer regelmäßigen Form behindert werden, so bilden sich krystallinische Minerale. Das Hindernis kann in einer dem Krystall fremden Umgebung liegen oder durch das gleichzeitige Entstehen mehrerer oder vieler Individuen hervorgebracht sein. So wird ein Individuum von Kalkspat durch das umgebende Gestein an der Bildung der Krystallform gehindert und es entsteht anstatt eines Krystalles ein krystallinisches Individuum, oder es bilden sich im anderen Falle viele Individuen von Kalkspat nebeneinander, dieselben wachsen aneinander und es bildet sich demzufolge an keinem Individuum eine Krystallfläche aus oder bloß an den äußerstliegenden Individuen je eine einzige Krystallfläche. In solcher Art entsteht krystallinischer Kalkspat, welcher durch sein Gefüge die Zusammensetzung aus vielen Individuen verrät.

Zuweilen bildet sich ein Mineral krystallinisch aus, ohne daß ein mechanisches Hindernis erkennbar ist. Da jedoch die Bildung der Krystalle nicht bloß Raum, sondern auch Ruhe beansprucht und einer gewissen Zeit bedarf, so werden Bewegungen des Mediums oft störend gewirkt, oder es wird die Zeit nicht ausgereicht haben. Es gibt aber auch Minerale, welche selbst unter günstigen Umständen keine Krystalle bilden, doch aber krystallinisch auftreten, wie das unter dem Namen brauner Glaskopf bekannte Eisenerz.

Wenn ein krystallinisches Mineral aus vielen Individuen zusammengesetzt ist, so werden diese Zusammensetzungsstücke keine Krystallform besitzen, wohl aber von unregelmäßigen Flächen begrenzt sein, welche Zusammensetzungsflächen heißen. Dieselben sind meistens uneben.

Je nachdem die Individuen die Tendenz haben, gleichförmig ausgebildete, oder tafelförmige, oder säulenförmige Krystalle zu bilden, wird ihre Form, auch bei gehinderter Ausbildung, bald nach den verschiedenen Richtungen ungefähr gleiche Ausdehnung darbieten, oder tafelig oder in die Länge gestreckt sein. Die Form der Individuen oder Zusammensetzungsstücke bedingt das feine Gefüge (die Textur) der krystallinischen Minerale, wovon man der vorigen Andeutung zufolge drei Arten unterscheidet. Die körnige Textur, als die erste Art, wird weiter als grobkörnig, feinkörnig, feinkörnig unterschieden, die blätterige oder zweite Art im weiteren als dickschalig, dünnchalig, geradschalig, krummschalig, großblättrig, kleinblättrig, grobschuppig, kleinschuppig, körnigschuppig, schiefrigschuppig, die stengelige oder dritte Art als dickstengelig, dünnstengelig, grobfaserig, feinfaserig, parallelstengelig, parallelfaserig, radialstengelig, radiallyfaserig, verworrenstengelig, verworrenfaserig.

Für die Beobachtung mit freiem Auge verschwindet oft die Abgrenzung der Individuen, wofern diese eine allzu geringe Größe haben, dann erscheint das Mineral dicht. Die feinkörnige, feinschuppige und die feinfaserige Textur bilden sonach den Übergang zur dichten Textur. Ein dichtes Mineral wird aber bei der Beobachtung unter dem Mikroskop wieder körnig oder schuppig oder verworrenfaserig erscheinen. Der Ausdruck „dicht“ bezieht sich also bloß auf die Betrachtung mit freiem Auge.

Während die meisten krystallinische Minerale kompakt aussehen, kommen doch auch solche vor, die man als löcherig oder als porös ansprechen muß,

wie derlei Bildungen am Kalkspat, Quarz und Dolomit öfter auftreten. Ferner zeigt sich im Gegensatz zum kompakten und festen Gefüge zuweilen ein lockeres, und manche Minerale erscheinen zerreiblich, wie dies beim Kaolin und der Kreide der Fall ist.

Krystallinische Minerale bestehen zuweilen aus mehreren Lagen, welche den allmählichen schichtartigen Absatz erkennen lassen und ein gröberes Gefüge des Ganzen (Struktur nach Naumann) darbieten. Durch wiederholten Absatz entstehen schalige Bildungen, wie sie am Achat, Aragonit, Kalkspat, Limonit beobachtet werden. Wenn diese Schalen ein radialstengeliges oder radiaLfaseriges Gefüge haben, so ist dieses so beschaffen, daß sich die Richtung der einzelnen Stengel oder Fasern durch alle aufeinanderliegenden Schalen fortsetzt. Man hat also eine Erscheinung vor sich, welche an den schichtförmigen Aufbau der Krystalle erinnert. Das Gefüge ist gleichzeitig radiaLfaserig und konzentrisch schalig, also ein doppeltes Gefüge, das von manchen Mineralogen als Glaskopftextur bezeichnet wird, weil es am braunen Glaskopf (Limonit) und roten Glaskopf (Rot-eisenerz) in ausgezeichneter Weise vorkommt.

67. Die ursprüngliche äußere Form, welche ein krystallinisches Mineral besitzt, kann von dreierlei Art sein. Wenn bei der Bildung ein freier Raum oder ein nachgiebiges Medium vorhanden ist, welches die Entfaltung der eigentümlichen Form gestattet, so bilden sich freie Formen; wenn hingegen kein solcher verfügbarer Raum vorhanden ist, werden erborgte Formen entstehen; wenn endlich krystallinische Minerale nach ihrer Bildung durch äußere Umstände Formveränderungen erfahren, so werden sie zufällige Formen annehmen.

Die freien Formen, welche Mohs nachahmende Gestalten genannt hat, schließen sich den Krystallgruppen und Krystalldrusen an. Der Krystallgruppe entsprechen die kugeligen Bildungen, wie sie an dem Erbsenstein zu beobachten sind. Sie haben eine doppelte Textur, da sie zugleich radiaLfaserig und konzentrischschalig sind. Hierher gehören die Oolithe, Pisolithe, Sphärolithe. Minerale, welche die Tendenz haben, derlei kugelige Formen anzunehmen, bilden öfter Gruppen und Anhäufungen rundlicher Einzelkörper, so daß die mannigfaltigsten Formen entstehen. Der Kalkspat ist es namentlich, welcher derlei Konkretionen bildet, die im Ton und Mergel häufig angetroffen werden. Sie ahmen oft verschiedene Gegenstände, besonders organische Formen nach, und in der Zeit, welche noch keine wissenschaftliche Auffassung der Mineralformen kannte, standen diese „Naturspiele“ bei den Sammlern in besonderem Ansehen. Die anderen freien Bildungen entsprechen zumeist der Druse. Die halbkugeligen Bildungen, wie sie am Natrolith und an manchen faserigen Mineralen vorkommen, sind nicht so häufig, wie die komplizierteren Vereinigungen, deren einzelne Teile sich mit der Tendenz gebildet haben, Halbkugeln zu bilden. Es sind die nierenförmigen und die traubigen Vereinigungen, wie sie schön am Chalcedon, an dem sogenannten braunen und roten Glaskopf, am Malachit zu sehen sind. Die letzteren zeigen zugleich die doppelte Textur sehr deutlich, während sie der Chalcedon öfter kaum wahrnehmen läßt. Die nierenförmigen Gestalten setzen sich aus Ausschnitten

größerer Kugeln, die traubigen aus Ausschnitten kleinerer Kugeln zusammen. Wenn man derlei Bildungen zerbricht, erhält man oft an der Grenze der einzelnen Ausschnitte ebene Zusammensetzungsflächen, besonders schön an den Glasköpfen. Andere freie Formen sind die zylindrischen oder die keulenförmigen, wie sie der Kalkspat öfter bildet, oder die zahnigen, drahtförmigen, wie sie am Silber und am Kupfer oft gesehen werden, oder die haarförmigen oder moosförmigen am Silber und am Gold. An den Ausblühungen oder Effloreszenzen von Eisenvitriol, die an verwittertem Schwefelkies entstehen, oder von Kalisalpetern, welche sich am Boden oder an porösem Gestein bilden, treten derlei haar- oder moosförmige Gestalten häufig auf.

Eigentümlich sind die dendritischen Bildungen mit ihren baumförmigen, strauchförmigen und farnkrautähnlichen Umrissen. Sie finden sich in Klüften, wo sie wenigstens in bezug auf ihren Umriß als freie Bildungen zu gelten haben, aber auch flachgestreckt als Überzüge und nach allen Seiten frei entwickelt, wo sie zweifellos freie Bildungen sind. Sie nähern sich in ihrem Wesen den gestrickten Formen, welche teils Krystallstöcke, teils Zwillingstöcke sind. Dendriten zeigt das Kupfer sehr schön, ebenso zeigen sie mehrere Manganerze.

Zu den freien Bildungen gehören auch die Krusten, Schalen und Überzüge krystallinischer Minerale. Wenn derlei Überzüge sich auf früher gebildeten Krystallen abgesetzt haben (Epimorphose), so zeigen sie nach Entfernung der letzteren deren Abdrücke, wie solche Abformungen schon bei den drusigen Überzügen erwähnt wurden. Überzüge von Limonit, welche Calcitkrystalle abformen, oder Überzüge von Schwefelkies, welche Barytkrystalle abformen, sind Beispiele.

Die größte Mannigfaltigkeit freier Formen bieten die tropfsteinartigen (stalaktitischen) Bildungen. Bei diesen sind es die besonderen Umstände, das beständige Nachfolgen neuer Tropfen und Lösungsmengen, welche seltener eine Bildung deutlicher Krystalle gestatten, dagegen häufiger die Entstehung von Zapfen und Zylindern, von Kolben und zuweilen auch von Röhren begünstigen. Derlei Zapfen und Zäpfchen stehen oft mit traubigen und nierenförmigen Gestalten in Verbindung und bezeugen deren ähnliche Bildung. Anstatt einfacher Zylinder bilden sich bisweilen knospenförmige oder staudenförmige Gestalten oder auch zackige Formen, wie solche an der Eisenblüte, einer Art des Aragonits, vorkommen.

Die erborgten Formen entstehen zum Teil dadurch, daß Hohlräume oder Spalten der Gesteine von krystallinischen Mineralen eingenommen werden. Diese bilden sich im beschränkten Raume und sind auf solche Weise gehindert, Krystalle zu bilden oder jene Formen darzustellen, wie die freien Bildungen. Das krystallinische Mineral nimmt dadurch die Form der Umgebung an, welche im allgemeinen eine unregelmäßige ist. Ausfüllungen von Klüften geben Platten, die Ausbreitung derselben gibt im Querschnitte oft Formen, die als Adern bezeichnet werden. Ausfüllungen sehr dünner Klüfte geben nach dem Bloßlegen dünne Lamellen, die Anflüge heißen.

Die Ausfüllung rundlicher Räume im Gestein erscheint kugelig oder knollenförmig. Beispiele sind die Achatknollen. Zuweilen ist eine solche Ausfüllung ein einziges Individuum, was man bei dem im Mandelsteine vorkommenden Kalkspat

durch die einheitliche Spaltbarkeit erkennt. Auch andere unregelmäßige Räume im Gestein erscheinen zuweilen durch ein einziges Individuum ausgefüllt, was bei allen häufigeren Mineralen zu beobachten ist.

Das Vorkommen krystallinischer Minerale, welches nicht zu den vorgenannten gehört, also keine Kluftausfüllung und keine scharfbegrenzte kugelige Ausfüllung ist, wird kurzweg *derb* genannt, nur wenn die Masse klein ist, etwa wie eine Haselnuß oder kleiner, so wird das Vorkommen als *eingesprengt* bezeichnet. Der Ausdruck „*derb*“ wird auch noch in anderem Sinne gebraucht, indem man ein beliebiges Stück eines nicht krystallisierten Mineralen als ein *derbes* Stück bezeichnet. Die Ausfüllungen, die *derben* und die *eingesprengten* Massen, kommen gewöhnlich in einem fremdartigen Gestein vor, z. B. Schwefelkies oder Quarz im Tonschiefer, zuweilen aber ist das umgebende Gestein gleichartig, z. B. beim Vorkommen von körnigem Kalkspat im dichten Kalkstein.

Zu den Bildungen mit *erborgten* Formen gehören auch die *Pseudomorphosen* und die *Versteinerungen*, von denen später die Rede sein wird.

Die krystallinischen Minerale kommen, so wie die amorphen, sehr häufig in Formen vor, welche sie durch zufällige mechanische Vorgänge erhalten haben, also in der Form von Bruchstücken, von Geschieben und Geröllen, von Sand und Staub. Aus diesen losen Bruchstücken, Körnern etc. können sich wieder kompakte Massen zusammenfügen (*Regeneration*), welche sodann teils im Bruche, teils bei der Untersuchung der Dünnschliffe ihre klastische Natur erkennen lassen.

68. Formen der amorphen Minerale. Hier kann von den flüssigen Mineralen nicht viel die Rede sein, außer daß man die Tropfenform, die unter Umständen allen zukommt, und die Nebelform beim Wasser hervorhebt. Die starren amorphen Minerale zeigen freie Formen und *erborgte* Formen unter denselben Umständen, wie die krystallinischen. Die amorphen Minerale, z. B. der Opal, bilden demnach halbkugelige, zylindrische, zapfenförmige oder knollige Gestalten, krustenartige, oft wellige Überzüge und Vereinigungen verschiedener solcher Formen. Die freie Oberfläche erscheint öfter schön traubig oder nierenförmig, beim Zerbrechen zeigt sich manchmal ein grobes Gefüge zufolge wiederholten Absatzes, also eine deutliche Schichtbildung oder ein verworrenes Flechtwerk. Die natürlichen Gläser: Obsidian, Perlit, zeigen unter dem Mikroskop sehr häufig die *Fluidal*textur, d. i. eine Anordnung der Teilchen, welche durch das Fließen vor dem Erstarren bedingt ist. Ein regelmäßiges Gefüge fehlt natürlich ganz und gar. Demzufolge sind die amorphen Minerale auf ihren Bruchflächen meistens leicht als solche zu erkennen. Sie haben krumme, glänzende Bruchflächen, wie Glas oder Harz, während die dichten Minerale, welche eine verschwindende Textur besitzen, durch die mehr oder weniger matte Bruchfläche sich verraten. Bleibt man über den Amorphismus eines Mineralen im Zweifel, so gibt die Ätzung, die mikroskopische und optische Untersuchung den gewünschten Aufschluß.

Bei der Bildung im beschränkten Raume nehmen die amorphen Minerale auch die Form von Platten und von Adern an, sie bilden zuweilen knollige Massen, rundliche Ausfüllungen, sie erscheinen *derb* und *eingesprengt*. Öfter finden sich

die Opale und opalähnlichen (porodinen) Minerale als Imprägnation von krystallinischen Mineralen und geben diesen zuweilen das Ansehen eines völlig amorphen Mineralen (Halbopal).

Die glasartig amorphen Körper gehen leicht in den krystallinischen Zustand über. Ein bekanntes Beispiel, welches nicht der Mineralogie angehört, ist der geschmolzene Zucker, welcher durch bloßes Liegen allmählich zu krystallinischem Zucker umsteht. Die Bonbons zeigen öfter den Übergang, indem ihre Rinde aus krystallinischem, und zwar faserigem Zucker besteht, während das Innere noch den amorphen Zustand erkennen läßt. Gewöhnliches Glas wird durch andauerndes Erhitzen in einen porzellanartigen Körper (Réaumurisches Porzellan) verwandelt, es wird entglast und ist nun krystallinisch.

Die in der Natur vorkommenden Gläser, welche im Obsidian, Bimsstein, Rhyolith etc. vorkommen, zeigen häufig solche Trübungen und krystallinische Bildungen, daß man auf eine im Laufe der Zeit eingetretene Entglasung schließt. Dieser Schluß ist dadurch gerechtfertigt, daß bei der mikroskopischen Untersuchung jene krystallinische Beschaffenheit wahrgenommen wird, welche bei den künstlichen Entglasungen auftritt. Diese amorphen Minerale verhalten sich nach Lagorio wie innige Mischungen von Feldspat, Quarz u. s. w., welche bei der Entglasung allmählich sichtbare Individuen bilden.

Lagorio, in Tschermaks Min. und petrogr. Mitt., Bd. 8, S. 421; Rutley, Proceedings of the Royal Soc., 1885, S. 87, und 1886, S. 430.

Manche porodine Minerale kommen in der Gestalt eines amorphen Pulvers oder toniger oder gallertartiger Massen vor. Diese zeigen unter dem Mikroskope Flocken oder Körnchen oder Kügelchen, welche oft ineinander verfließen. Beispiele sind Bergmilch, mancher Kaolin und die gallertartige Kieselsäure.

Auch bei diesen Mineralen wird häufig ein Übergang in den krystallinischen Zustand beobachtet. Die Textur erscheint dann sehr feinkörnig, feinschuppig oder verworrenfaserig.

C. Doelter: Mineral. u. petrogr. Mitt. Bd. 28, S. 557.

69. Pseudomorphosen. Das Auftreten der Minerale in erborgten Formen ist besonders auffallend an jenen merkwürdigen Gebilden, welche schon von Werner als unechte Krystalle erkannt und Afterkrystalle genannt wurden. Sie zeigen eine Krystallform, und diese zuweilen in großer Schärfe, aber ihre innere Beschaffenheit widerspricht dem Wesen des Krystalles, denn sie sind im Innern nicht gleichartig, sondern krystallinisch, zeigen also eine Textur, oder sie sind amorph. Aus vielen Beobachtungen hat sich ergeben, daß die Form der Pseudomorphosen von Krystallen herrührt. Demnach hat das Mineral oder das Mineralgemenge, aus dem sie bestehen, die Form eines früher vorhandenen Krystalles überliefert erhalten. Naumann definiert demnach die Pseudomorphosen als krystallinische oder amorphe Minerale, welche, ohne selbst Krystalle zu sein, die Krystallform eines anderen Mineralen zeigen.

Die Pseudomorphosen werden ihrer Bildung nach eingeteilt in Ausfüllungs- und in Veränderungspseudomorphosen, die letzteren noch weiter in Umwandlungs- und in Verdrängungspseudomorphosen.

Wenn der hohle Abdruck eines Krystalles durch irgend ein Mineral ausgefüllt wird, so kann sich ein Abguß, eine positive Abformung bilden, welche die Gestalt eines Krystalles nachahmt. Solche seltene Bildungen werden Ausfüllungspseudomorphosen genannt. Kennigott schlägt die Bezeichnung Pleromorphosen vor. Die Abgußformen aus Ton, welche die Würfelform des Steinsalzes erkennen lassen, gehören in diese Abteilung. Sie werden damit erklärt, daß Steinsalzkrystalle im Ton gebildet, später aber aufgelöst wurden, wobei sich allmählich eine feine Tonmasse in den Hohlraum einschlammte.

Die Ausfüllungen sind von keiner weitergehenden Bedeutung. Sie sind nur uneigentliche Pseudomorphosen. Die zweite Abteilung hingegen, welche die Veränderungsseudomorphosen umfaßt, eröffnet ein weites, außerordentlich interessantes Gebiet, in welchem die wichtigsten Tatsachen einer Physiologie der Minerale enthalten sind.

Diese Gebilde bezeichnen eine Metamorphose, welche vorhandene Krystalle erlitten, und zwar kann die letztere entweder nur das Gefüge betroffen haben (Paramorphosen) oder, wie es in den meisten Fällen geschieht, auch die Substanz ergriffen haben, also eine chemische Veränderung sein. Von dieser chemischen Umbildung wird erst nach Betrachtung der substantiellen Eigenschaften der Minerale die Rede sein und gezeigt werden, daß dabei öfter ein Teil der Substanz erhalten bleibt (Umwandlung) oder die Substanz völlig ausgetauscht wird (Verdrängung).

Die Krystallform des ursprünglichen Mineralen ist an den Pseudomorphosen bisweilen vortrefflich erhalten, so daß die Winkel nur eine geringe Veränderung verraten. Pseudomorphosen, aus Serpentin bestehend, gaben Haidinger Winkel, welche jenen der Olivinkrystalle sehr nahe kommen. Die grünen, aus Malachit bestehenden Pseudomorphosen, welche die Krystallform des Atakamits erkennen lassen, lieferten v. Kokscharow und Tschermak bei der Beobachtung der Winkel Zahlen, welche mit den für Atakamit geltenden beinahe übereinstimmen. Auch die feine Zeichnung und Riefung der Flächen ist bisweilen schön erhalten, wie an den Brauneisenkörpern mit der Form des Eisenkieses oder an den aus Speckstein bestehenden Pseudomorphosen, welche die Formen von Quarzkrystallen bis auf die feinste Riefung der Säulenflächen wohl erhalten an sich tragen. Die Form schwebender Krystalle wird durch die umhüllende Matrix konserviert, die Form sitzender Krystalle aber dadurch gut erhalten, daß sich zuerst ein dünner Überzug bildet und hierauf die Veränderung beginnt. So erhält sich nach Bischof die Form sitzender Cupritkrystalle zuweilen dadurch, daß die Umwandlung in Malachit unter einem Überzug von Brauneisenerz vor sich geht.

Die Textur der Pseudomorphosen ist in der Regel dicht bis feinkörnig oder wirrblättrig oder verworrenfaserig. Gröberkörnige oder parallelblättrige oder parallelfaserige Textur ist seltener. Bisweilen ist die Stellung der neugebildeten Fasern oder Blättchen zu dem ursprünglich vorhandenen Krystall gesetzmäßig wie bei der parallelen Verwachsung ungleichartiger Krystalle. Die parallele Stellung der neugebildeten Blättchen oder Fasern bringt es mit sich, daß derlei Pseudomorphosen sich in optischer Beziehung ähnlich wie Krystalle verhalten. Beispiele sind

der blätterige Schillerspat, welcher eine aus Bronzit entstandene Pseudomorphose ist, der Uralit, welcher Augitform zeigt und im Innern aus parallelen Hornblende-fasern besteht.

Manche Pseudomorphosen bestehen aus einem einfachen Mineral, andere enthalten außer dem herrschenden Mineral eine geringe Beimengung eines zweiten, manche endlich bestehen aus einem Gemenge zweier oder mehrerer Minerale. Man pflegt die Pseudomorphosen nach dem in ihnen herrschenden Minerale zu klassifizieren, also diejenigen, welche aus Kalkspat bestehen, in dieselbe Abteilung, die aus Quarz bestehen, zusammengenommen in eine andere Abteilung zu stellen. Man kann aber auch die Einteilung nach dem ursprünglichen Minerale treffen, also z. B. diejenigen Pseudomorphosen, welche aus Augit entstanden sind, zusammenstellen, jene, welche aus Eisenkies hervorgegangen sind, nebeneinanderstellen u. s. f. Bei der Anführung der Pseudomorphosen pflegt man nach dem Vorgange von Blum das Mineral, aus welchem die Pseudomorphose besteht, zuerst und hierauf das ursprüngliche zu nennen und beide Namen durch das Wörtchen „nach“ zu verbinden. So wird eine der frühergenannten als „Pseudomorphose von Serpentin nach Olivin“, eine andere als „Pseudomorphose von Speckstein nach Quarz“, eine dritte als „Pseudomorphose von Schillerspat nach Bronzit“ bezeichnet. Pseudomorphosen, die aus einem Gemenge von Mineralen bestehen, erhalten eine entsprechende Bezeichnung, z. B. „Kaolin und Quarz nach Feldspat“.

Oft läßt sich die Verwandlung eines krystallisierten Mineralen, also die Pseudomorphosenbildung, genau verfolgen. Dabei leistet, wie begreiflich, die mikroskopische Untersuchung ganz Außerordentliches. In vielen Fällen bildet das Umwandlungsprodukt nur die äußere Schicht, während im Innern noch ein frischer Kern sichtbar ist. Die Umwandlung schreitet in solchen Fällen entweder unregelmäßig, also nach krummen Flächen vor, oder sie dringt nach ebenen Flächen gegen das Innere. Diese Art der Veränderung zeigen die rhomboedrischen Krystalle von Eisenspat, welche sich in gewöhnliches Brauneisenerz (Limonit) verwandeln, oder Krystalle von Eisenkies, die sich in ein anderes Brauneisenerz (Göthit) verwandeln. Fig. 331 zeigt den Querbruch eines Würfels von Eisenkies, der noch einen frischen Kern enthält, im übrigen aber in dichten Göthit verwandelt ist.

Bisweilen schließen der Kern und die neugebildete Rinde nicht eng aneinander, sondern es existiert ein Zwischenraum, ja der Kern verschwindet früher, bevor die von außen vordringende Pseudomorphosenbildung zum Innern gelangt, und es entstehen hohle Pseudomorphosen, die man schon oft für bloße Umhüllungen gehalten hat. Dies geschieht häufig bei der Bildung der Pseudomorphose von Quarz nach Calcit.

Die Umbildung schreitet zuweilen in der Weise vor, daß das zersetzende Medium in die feinen Sprünge des Krystalles eindringt. Diese Sprünge verlaufen gewöhnlich nach der Spaltbarkeit. Das neuentstehende Mineral bildet sich demzufolge in den Sprüngen und an den Wänden derselben. Hat es ein größeres Volum als das ursprüngliche, so zersprengt es den Krystall von neuem, die Umwandlung schreitet in gleicher Weise fort, bis die Sprünge wieder zusammen-treffen und bis ein ganzes Netzwerk von Sprüngen, zugleich aber auch ein Netz

des neuen Mineralen entstanden ist. Endlich werden auch die Maschen des Netzes umgewandelt. Derart ist die Umwandlung des Olivins in Serpentin.

Tschermak, Sitzungsber. d. W. Akad., Bd. 56.

Fig. 332 gibt den mikroskopischen Durchschnitt eines Olivinkrystalles, an welchem nicht bloß eine Rinde von Serpentin entstanden, sondern die Serpentinbildung auch netzartig fortgeschritten ist. Weil bei dieser Umwandlung häufig auch etwas Magneteisenerz gebildet wird, so sieht man die schwarzen Körnchen desselben an den Stellen, wo sich früher Sprünge gebildet haben, nicht selten. Die folgende Fig. 333 zeigt den Durchschnitt der vollendeten Pseudomorphose, die ihre Bildungsweise an der netzförmigen Zeichnung deutlich erkennen läßt.

Fig. 331.

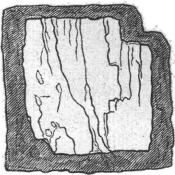


Fig. 332.

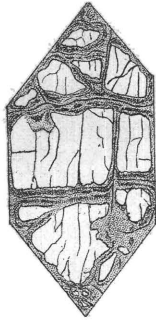
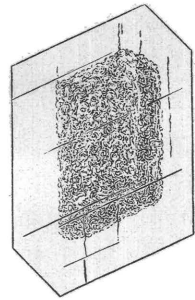


Fig. 333.



Fig. 334.



Bisweilen beginnt die Umwandlung im Innern des Krystalles, wie bei manchen Feldspatkrystallen, die in der äußeren Schicht noch kaum angegriffen sind, im Innern aber eine erdige Masse, wahrscheinlich Kaolin enthalten, wovon Fig. 334 eine Vorstellung gibt. Dieser sonderbare Anfang der Pseudomorphosenbildung kann dadurch veranlaßt sein, daß der ursprüngliche Krystall aus Schichten von verschiedener Art zusammengesetzt war und der Kern aus einer leichter zersetzbaren Substanz bestand oder aber dadurch, daß im Innern der ursprünglichen Krystalle viele Lücken mit dampfförmigen oder flüssigen Einschlüssen vorhanden waren, so daß dem zersetzenden Medium, welches durch feine Sprünge in das Innere drang, dort eine große Oberfläche geboten war, also der Angriff daselbst rascher erfolgen konnte, als an der Oberfläche des Krystalles.

Da nicht nur Krystalle, sondern auch krystallinische Massen der Umwandlung unterliegen, so kommt es nicht selten vor, daß die durch Umwandlung entstandenen Minerale zwar keine Krystallform zeigen, aber durch ihr Gefüge den Ursprung verraten. Der rote Glaskopf, welcher eine traubige oder nierenförmige Oberfläche hat und jene doppelte Textur (Glaskopftextur) zeigt, die zugleich radialfaserig und konzentrischschalig ist, geht aus dem braunen Glaskopf, einer Art des Limonits hervor, wobei Oberfläche und Textur erhalten bleiben. Haidinger sprach sich also dahin aus, daß der rote Glaskopf eine Pseudomorphose nach braunem Glaskopf sei. Blätterige Massen von Aragonit, welche noch die Spaltflächen von Gyps erkennen lassen (Schaumkalk), sind als Pseudomorphosen von

Aragonit nach Gyps bezeichnet worden u. s. f. Hält man diese Bezeichnung fest, so muß dementsprechend die Naumannsche Definition der Pseudomorphose erweitert und gesagt werden: Pseudomorphosen sind krystallinische oder amorphe Minerale, welche entweder die Form oder die Textur eines von ihnen verschiedenen Mineralen oder auch beides an sich tragen.

Als ältere Schriften über Pseudomorphosen sind hervorzuheben: Breithaupt, Über die Echtheit der Krystalle, Freiberg, 1815. Haidinger, in Pogg. Annalen, Bd. 11, S. 173 und 366. Bd. 62, S. 161; als neuere Schriften: Scheerer, Über Afterkrystalle, Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie, 2. Aufl., 1837. L. Bischof, Lehrbuch der chemischen Geologie, 1. Aufl., 1847 und in der 2. Aufl. 1863—66. Bemerkungen über Ps. Delesse in den Annales de mines [5] Bd. 16, S. 317. E. Geinitz, N. Jahrbuch f. Mineralogie, 1876, S. 449. Eine Zusammenstellung eigener und fremder Beobachtungen, samt Angabe der Literatur, gab R. Blum in dem sehr verdienstlichen Werke über die Pseudomorphosen des Mineralreiches, Stuttgart, 1843, nebst erstem bis viertem Nachtrag aus den Jahren 1847, 1852, 1863, 1879, und auch Roth, Allgemeine und Chemische Geologie, Berlin, 1879. Abbildungen in Cohen, Sammlung von Mikrophotographien.

69. Versteinerungen. So bezeichnet man im allgemeinen jene Formen einfacher Minerale und Gemenge; welche von Organismen herrühren, ob sie nun bloß die äußeren Formen oder bloß das Gefüge von organisierten Wesen, oder beides erkennen lassen. Da in den Versteinerungen ebenfalls Minerale mit erborgten Formen auftreten, so zeigt sich eine wesentliche Ähnlichkeit mit den Pseudomorphosen, daher auch wieder Abdrücke und Produkte der Veränderung unterschieden werden können.

Hohle Abdrücke (Spurensteine) finden sich besonders häufig im Kalkstein, sonst auch im Dolomit, im Sandstein u. s. w. Sie entstehen durch die Abformung von Organismen, deren Substanz später in gelöster Form weggeführt wurde. Bei diesem Vorgange bleibt öfter der Abguß der Innenseite hohler Formen erhalten, wie dieses die Abgüsse des Innenraumes von Schnecken und Muscheln zeigen, welche Steinkerne genannt werden. Die eigentlichen Versteinerungen entstehen durch Veränderungen der Substanz, aus welcher die Organismen zusammengesetzt sind. Die Schalen und kalkreichen Gerüste niederer Tiere liefern den größeren Teil der Versteinerungen, wobei nur eine verhältnismäßig geringe Veränderung platzgreift, indem die Versteinerung wieder aus Kalkspat, seltener aus Aragonit besteht. Pflanzen und Tierkörper geben oft flachgedrückte Überreste, wie die Abdrücke von Blattpflanzen, Fischabdrücke, welche meist aus einer dünnen Schichte von Kohle bestehen. Die Anhäufung größerer Mengen von Pflanzenresten gibt schließlich die verschiedenen Braun- und Schwarzkohlen, in welchen in manchen Fällen noch direkt oder nach geschicktem Präparieren die pflanzliche Textur zu erkennen ist.

Das versteinerte Holz ist meistens verkieselt und besteht aus Opal oder Quarz. Im ersteren Falle ist die ursprüngliche Textur so deutlich erkennbar, daß der Dünnschliff unter dem Mikroskop denselben Anblick gewährt, wie ein wohlgeratener Schnitt aus dem frischen Holze, und doch ist alles vollständig durch Opal ersetzt und von der Holzsubstanz nichts mehr vorhanden.

Man unterscheidet öfter zwischen rezent und fossil, indem jener Ausdruck auf die wenig veränderten Reste jetzt noch lebender Organismen, dieser auf die stärker veränderten Überbleibsel ausgestorbener Wesen angewendet wird.

Das Mineral, aus welchem die Versteinerung besteht, ist in vielen Fällen unbestimmt körnig, schuppig, dicht u. s. f. Manchmal gibt sich eine besondere Form des neueintretenden Mineralen kund, wie die „Kieselringe“ des Chalcedons und Opals bei manchen Verkieselungen. Häufig hat das versteinigungsbildende Mineral seine Textur von dem organischen Überreste entlehnt. Hierher gehört das schalige Gefüge vieler Muschelversteinerungen, die radialfaserige Textur der Belemniten und als ein besonders auffallendes Beispiel die Orientierung der Kalkspatindividuen in jenen Versteinerungen, welche von Echiniten, Seesternen, Crinoiden herrühren. Jeder Stachel des Seeigels, jedes Stengelglied der Seelilie, jede Platte ihres Kelches etc. ist ein Kalkspatindividuum, dessen Hauptaxe entweder der Längsaxe des Stachels etc. parallel ist oder überhaupt eine bestimmte Stellung zu der Körperaxe einnimmt.

Vergl. Hessel, Einfluß des organischen Körpers auf den unorganischen. Marburg, 1826, Ebner, Sitzungsber., Ak. Wien, Bd. 95 (I), S. 55.

Früher wurde schon erwähnt, daß manche krystallinische, selbständige Bildungen Ähnlichkeit mit Versteinerungen besitzen. Die dendritischen oder die moosförmigen Bildungen sind früher einigemale als Pflanzenreste gedeutet worden.

Die erwähnten Minerale Kalkspat, Aragonit, Opal, Quarz, Kohle, bilden hauptsächlich das Material für Versteinerungen, bisweilen aber treten Gyps, Baryt, Cölestin etc. an ihre Stelle. Wenn Minerale, die ein schweres Metall enthalten, wie Eisenkies, Brauneisenerz, Zinkspat, Roteisenerz, Eisenspat, in der Form von Versteinerungen auftreten, so spricht man von Vererzung. Sowohl Tier- als Pflanzenreste finden sich öfter durch Eisenkies vererzt.

Literatur über die Minerale der Versteinerungen in dem vorerwähnten Werke von Blum über die Pseudomorphosen des Mineralreiches.

II. Mineralphysik.

70. Physikalische Eigenschaften. Die Erscheinungen, welche sich an Mineralen vollziehen, ohne daß eine Substanzänderung eintritt, ergeben das physikalische Verhalten derselben. Die Arten dieses Verhaltens bezeichnet man als physikalische Eigenschaften und dieselben beziehen sich auf Krystalle, oder Krystallindividuen, auf Aggregate und auf amorphe Körper. In den amorphen Mineralen bestehen keine bestimmten, voneinander verschiedenen Richtungen, vielmehr verhalten sich alle Richtungen gleich, die amorphen Körper sind isotrop. Aggregate zeigen bloß in wenigen Fällen ein bestimmtes oder eigentümliches Verhalten. Demnach sind die in Betracht zu nehmenden physikalischen Eigenschaften zu meist solche, die an Krystallen oder Krystallindividuen beobachtet werden. Die Mineralphysik ist daher vorzugsweise Krystallphysik.

Den Krystallen und Individuen kommt ein bestimmter innerer Bau zu, indem in jedem Krystall geometrisch definierbare, verschiedene Richtungen bestehen. Die Krystalle und Individuen sind anisotrope Körper. Es kommt aber auf die Art der Einwirkung an, wie diese Beschaffenheit sich äußert. Es gibt physikalische Vorgänge, welche sich unter dem Bilde einer den Körper durchsetzenden Strömung verstehen lassen, wie z. B. die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung, andere vollziehen sich im Sinne einer Wellenbewegung, wie z. B. die Fortpflanzung des Lichtes. In diesen Fällen kommen nicht alle im Krystall vorhandenen Verschiedenheiten der Richtung zum Ausdrucke, wenngleich sich bestimmte Arten der Symmetrie herausstellen, die die vorhandene krystallographische Symmetrie nicht stören. Das heißt also, krystallographisch verschiedene Richtungen können sich in bezug auf derartige physikalische Vorgänge gleich verhalten; niemals aber können krystallographisch gleiche Richtungen physikalische Unterschiede zeigen. So verhalten sich tesserale Krystalle optisch isotrop, trigonale, tetragonale, hexagonale Krystalle und Individuen verhalten sich optisch gleichartig.

Andere physikalische Einwirkungen, die eine Veränderung der Lage herbeiführen, zeigen sich inniger mit dem feinen Gefüge der Krystalle verknüpft, und es lassen sich nun mehr von den 32 Symmetrieklassen durch das physikalische Verhalten unterscheiden. Unter derartigen physikalischen Vorgängen gibt es solche, bei denen die Unterscheidung von Richtung und Gegenrichtung nicht möglich ist; z. B. Spaltbarkeit, elastische Dehnung. Bezüglich dieser Eigenschaften wird die Unterscheidung solcher Krystallklassen, die nur durch das Fehlen oder Vorhandensein eines Symmetriezentrums verschieden sind, wie z. B. Stufe IV und V, unmöglich sein.

Es gibt physikalische Vorgänge, nämlich Wachstum und Auflösung der Krystalle, die so innig mit der Symmetrie des Krystalles zusammenhängen, daß jedem krystallographischen Unterschied zweier Richtungen auch ein physikalischer entspricht. Diese physikalischen Vorgänge vollziehen sich demnach bei jeder der 32 Krystallklassen nach besonderen Gesetzen und sie sind es, welche die genaueste Erforschung der Symmetrie der Krystalle ermöglichen.

Eine Eigenschaft, die sich auf alle Minerale ohne Unterschied bezieht, ist die Art der Raumerfüllung oder die Dichte. Bei Krystallen kommt hier gar kein Unterschied der Richtung in Betracht. Die Besprechung derselben wird am Schlusse zugefügt.

Von den physikalischen Eigenschaften werden im folgenden jene eingehender behandelt, welche zur Charakterisierung der Gattungen dienen, also geeignet sind, die Bestimmung der letzteren herbeizuführen. Die Mineralphysik ist also in erster Linie die Lehre von den Kennzeichen der Minerale.

Lit. Außer den umfangreicheren Lehrbüchern der Physik, wie jener von Müller-Pouillet, von Wüllner, von Riecke, sind hervorzuheben: Sohncke, *Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur*, 1879. Mallard, *Traité de Cristallographie*, t. 2, Paris, 1884. Liebisch, *Physikalische Krystallographie*, Leipzig, 1891, und *Grundriß der physikalischen Krystallographie*, Leipzig, 1896. Groth, *Physikalische Krystallographie*, 4. Aufl., Leipzig, 1905. W. Voigt, *Lehrbuch der Krystalphysik*, Leipzig u. Berlin, 1910.

71. Elastizität. Äußere Einwirkungen vermögen die Gestalt der starren Körper vorübergehend zu ändern. So lange diese Einwirkungen klein bleiben, geht die Gestaltänderung vollkommen zurück, wenn die Einwirkung aufhört. Der Widerstand, den die starren Körper innerhalb dieser Grenze einer vorübergehenden Gestaltveränderung entgegensetzen, heißt Elastizität.

Werden die Körper in der Form von Stäbchen gebracht, so läßt sich durch Anhängung von Gewichten ein Zug, durch Auflegung von Gewichten ein Druck auf dieselben ausüben und die Verlängerung oder Verkürzung messen. Stäbchen, die in horizontaler Stellung an einem Ende geklemmt werden, erfahren durch Gewichte, die am freien Ende senkrecht zur Längsaxe wirken, eine Biegung, ebenso Stäbchen, die an beiden Enden gestützt und in der Mitte belastet werden, und ebenso kreisrunde Scheibchen, die an den Endpunkten eines Durchmessers unterstützt und auf dem dazu senkrechten Durchmesser belastet werden. Die Biegung wird hier durch die Senkung der Mitte des Stäbchens oder Scheibchens gemessen. Auch die Drehung, welche das freie Ende eines einseitig geklemmten Stäbchens erfährt, läßt sich durch Gewichte hervorbringen. Je größer das Gewicht ist, welches nötig erscheint, um eine bestimmte Verlängerung oder Biegung oder Drehung vorübergehend hervorzurufen, desto größer ist die Elastizität des untersuchten Körpers.

Genaue Messung gestatten die Dehnungsversuche; läßt man durch angehängte Gewichte in der Längsrichtung eines Stäbchens einen Zug ausüben, so erleidet dasselbe eine Verlängerung. Der Zug, geteilt durch die Anzahl Quadratmillimeter im Querschnitt, also der Zug auf die Einheit des Querschnittes, heißt Spannung. Das Verhältnis der Verlängerung zur Länge des Stäbchens im unbelasteten Zustand heißt Dilatation. Innerhalb der oben angedeuteten Grenzen ist die Dilatation der Spannung proportional, d. h. bei einer 2, 3...mal größeren Spannung ist auch die Dilatation 2, 3...mal größer. Bei Körpern aus verschiedenem Material muß zur Hervorbringung derselben Dilatation eine verschiedene Spannung angewendet werden. Das Verhältnis der Spannung zu der dadurch hervorgebrachten Dilatation heißt Elastizitätsmodul der Ausdehnung. Als Dehnungskoeffizient wird der reziproke Wert des Elastizitätsmoduls bezeichnet.

Um an Stäbchen von 1 mm^2 Querschnitt die Dilatation 0·001, d. h. eine Dehnung hervorzubringen, welche ein Tausendstel der Länge beträgt (also bei einem Stab von 1 m Länge eine Dehnung von 1 mm), wären erforderlich für

Blei.....	1·727 <i>kg</i>
Gold.....	5·585 „
Silber.....	7·141 „
Fensterglas.....	7·917 „
Stahldraht.....	18·809 „

Werden solche Stäbchen aus krystallisierten Mineralen geschnitten, und zwar aus tesserale Mineralen in der Richtung der Würfelfante, aus anderen in der Richtung der aufrechten Axe, so wären für die gleiche Dilatation erforderlich für

Alaun	1·793 <i>kg</i>
Steinsalz	4·199 „
Baryt	5·385 „
Calcit	5·838 „
Quarz	10·300 „
Fluorit	14·700 „
Pyrit	35·310 „

Denselben Widerstand, der durch den Elastizitätsmodul gemessen wird, leisten die Körper auch, wenn sie durch aufgelegte Gewichte in der Längsrichtung zusammengedrückt werden.

Bei vielen Körpern ist es unmöglich, lange Stäbchen herzustellen, die eine meßbare Verlängerung ergeben. Man kann aber den Elastizitätsmodul auch bestimmen, indem man ein parallelepipedisches Stäbchen an den Enden unterstützt und in der Mitte belastet. Die Mitte des Stäbchens erfährt dadurch eine Senkung, das Stäbchen wird gebogen, wobei die unteren Schichten in der Längsrichtung gedehnt, die oberen zusammengedrückt werden. Aus der beobachteten Durchbiegung kann der Elastizitätsmodul berechnet werden, wenn die Dimensionen des Stäbchens (Länge zwischen den Unterstützungsschneiden, Breite, Dicke) gemessen wurden.

Solche Biegungsversuche sind besonders geeignet, um die Abhängigkeit der Elastizität von der Richtung zu prüfen.

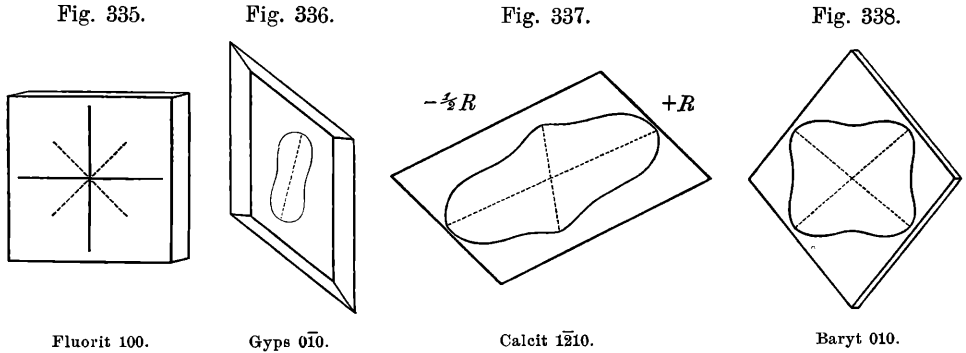
In amorphen Mineralen ist die Elastizität in allen Richtungen gleich groß, in Krystallen ist sie zwar in den krystallographisch gleichen Richtungen gleich, in ungleichen Richtungen aber häufig verschieden.

Stäbchen, welche aus einem Fluoritkrystall parallel den Würfelkanten geschnitten werden, zeigen alle dieselbe Elastizität. Alle erleiden, wenn ihr quadratischer Querschnitt 1 mm^2 und ihre Länge 4 cm beträgt, eine vorübergehende Biegung von 0.1 mm , wenn das in der Mitte des Stäbchens wirkende Gewicht 92 g beträgt. Stäbchen von gleichen Dimensionen, parallel der Diagonale der Würfelflächen geschnitten, verhalten sich alle gleich, sie erfahren aber jene Biegung von 0.1 mm schon bei einer Belastung von 63 g . Die Elastizität in der Richtung der Würfelkanten ist also 1.46 mal so groß als in der Richtung der Diagonalen. In den Zwischenrichtungen ergeben sich mittlere Werte.

Werden jene Gewichte durch Längen ausgedrückt und werden diese Längen als Linien von der Mitte der gezeichneten Krystallfläche aus in den angegebenen Richtungen gezogen, so ergibt sich eine Darstellung wie in Fig. 335. Denkt man sich auch die Werte für die Zwischenrichtungen eingetragen und die Enden der Linien durch eine Kurve verbunden, so erhält man die Elastizitätskurve oder Elastizitätsfigur¹⁾ auf der Krystallfläche, z. B. auf der Würfelfläche des Fluorits, Fig. 339.

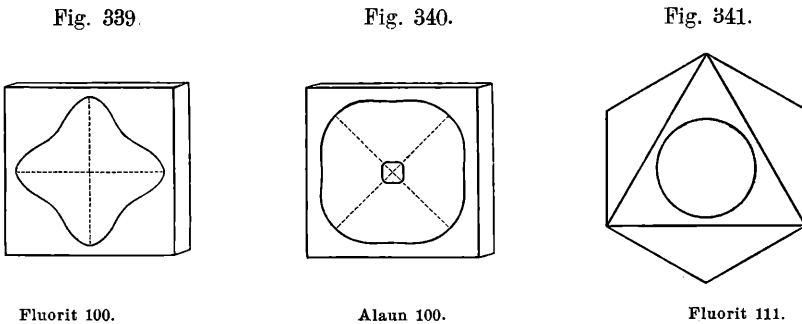
¹⁾ Die Ableitung der Elastizitätskurve geschieht häufig auch in der Weise, daß die Größe der Biegung, bei gleicher Belastung, durch proportionale Längen ausgedrückt wird. Diese Darstellung schließt sich der Beobachtung besser an. Die obige Darstellung entspricht aber einer analogen Behandlung der Elastizität und der Härte des Krystalles.

Der Charakter der Elastizitätsfigur hängt mit der Symmetrie der bezüglichen Fläche zusammen. Dabei kommt jedoch in Betracht, daß die Elastizität für eine Richtung mit jener für die Gegenrichtung gleich ist. Dies folgt schon aus dem Dehnungsversuch, da sich die Dehnung gleich bleibt, ob der Zug an dem einen oder dem anderen Ende des Stäbchens wirkt. Demnach gibt es keine völlig un-symmetrischen und keine monosymmetrischen Elastizitätsfiguren.



Auf asymmetrischen Flächen ist die Elastizitätsfigur dimetrisch, wie in Fig. 336, indem jeder Radius der Figur mit dem um 180° abliegenden Radius gleich ist. Die Maximaldurchmesser sind punktiert angegeben. Dementsprechend würden triklone Krystalle auf allen Flächen eine dimetrische Figur ergeben, ebenso die monoklinen auf allen Flächen, die nicht senkrecht zur Symmetrieebene liegen.

Monosymmetrischen und disymmetrischen Flächen entspricht eine disymmetrische Elastizitätskurve, z. B. in Fig. 338. Monokline Krystalle geben für die zur Symmetrieebene senkrechten Flächen, rhombische Krystalle für alle Endflächen und



alle Prismenflächen disymmetrische Figuren. Tetragonale und hexagonale Krystalle geben für alle zur Hauptaxe parallelen Flächen disymmetrische Figuren, ebenso trigonale Krystalle für die Flächen aller Rhomboeder und die des Prismas, während für die Flächen des verwendeten Prismas eine dimetrische Figur gilt. Fig. 337.

Tetrasymmetrischen Flächen entspricht eine Figur von tetrasymmetrischem Charakter, wie Fig. 339 (Würfelfläche des Fluorits) und Fig. 340 (Würfelfläche

des Alauns). Für letztere gilt zufolge der geringen Elastizität des Alauns die innere, kleine Figur. Der Deutlichkeit wegen ist dieselbe auch in achtfacher Vergrößerung wiederholt.

Trisymmetrische und hexasymmetrische Flächen werden sich gleich verhalten. Hier sollte man hexasymmetrische Kurven erwarten. Da jedoch aus der Theorie der Elastizität folgt, daß die Elastizitätsfigur höchstens zwei Maximal- und zwei Minimaldurchmesser haben kann, so erübrigt für die Kurve nur ein Kreis. Die Endflächen der hexagonalen und rhomboedrischen Krystalle, die Oktaederflächen der tesseralen Krystalle haben also einen Kreis als Elastizitätsfigur. Fig. 341.

Für Krystalle der Stufen I und IV kommt in Betracht, daß die Elastizitätsfigur jeder Fläche sich mit der ihrer Gegenfläche kombiniert, wie aus dem Biegungsversuche folgt. Der Würfelfläche eines tetraedrischen Krystalles (vergl. Fig. 218 auf S. 90) kommt sonach keine disymmetrische, sondern eine tetrasymmetrische Figur zu.

In anderen Fällen ist zu berücksichtigen, daß die Elastizität im selben Krystall in allen parallelen Richtungen dieselbe sein muß, wenngleich diesen Richtungen auf verschiedenen Flächen eine kristallographisch verschiedene Bedeutung zukommt. An tesseralen Krystallen der Stufe II (vergl. Fig. 227 auf S. 92) ist die Würfelfläche disymmetrisch. Wird aber die vordere Würfelfläche 100 mit der Seitenfläche 010 verglichen, so ergibt sich, daß die Vertikalrichtung der ersteren Fläche kristallographisch gleich ist der Horizontalrichtung auf der zweiten Fläche und umgekehrt. Da jedoch die Vertikalrichtungen für beide Flächen in elastischer Beziehung gleich sind, so folgt, daß auf jeder dieser Würfelflächen die vertikale und die horizontale Richtung elastisch gleichwertig sind, und dies führt auf eine tetrasymmetrische Figur. In der Tat geben die Versuche am Pyrit für die Würfelfläche eine Figur, welche der am Fluorit ähnlich ist.

Hemimorphe Krystalle werden sich wie die beiderseits gleichartig ausgebildeten verhalten. Damit stimmen die Versuche am Turmalin überein.

Wenn man einen Stab an einem Ende festklemmt und das andere Ende zu drehen versucht, zeigt sich gleichfalls ein elastischer Widerstand: Torsionselastizität. Sie folgt ähnlichen Gesetzen wie die Dehnungselastizität.

Savart bestimmte die Elastizität einiger Krystalle durch Beobachtung der Tonhöhe und der Klangfiguren an Platten, welche in verschiedenen Richtungen aus denselben geschnitten wurden. Platten von Bergkrystall gaben verschiedene Töne, je nachdem sie parallel einer Fläche des Rhomboeders oder des verwendeten Rhomboeders oder parallel den Prismenflächen geschnitten waren. Der Unterschied ging bis auf eine Quinte. Von den Platten, welche der Hauptaxe parallel geschnitten waren, zeigten sich immer je drei untereinander gleich, welchen eine um 120° verschiedene Lage entsprach. Platten aus Calcit gaben ähnliche Resultate, indem sich jene Platten gleich verhielten, welche gemäß der Symmetrie des Rhomboeders kristallographisch gleichen Flächen parallel waren. Gypsplatten (010) befolgten dimetrische Symmetrie. Amorphe Körper lieferten nach jeder Richtung gleiche Platten. Holz, welches nach drei Richtungen verschiedenen Bau hat, zeigte demgemäß nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elastizität. Platten von Holz

boten daher Analogie mit Krystallplatten. Aus der Tonhöhe schwingender Stäbe von Eis und Steinsalz hat auch Reusch, aus der Lage der Schwingungsknoten auf Steinsalzstäbchen hat Groth deren Elastizität bestimmt.

Lit. Liebisch, *Physikalische Krystallographie*, S. 558. Savart, *Pogg. Ann.*, Bd. 16, S. 206. Angström, ebendas., Bd. 86, S. 206. Neumann, ebendas., Bd. 31, S. 177. Groth, ebendas., Bd. 157, S. 115. Reusch, ebendas., *Neue Reihe*, Bd. 9, S. 329. Beckenkamp, *Zeitschr. f. Kryst.*, Bd. 10, S. 41, und Bd. 12, S. 419. Voigt, *Ann. der Physik*, Bd. 40, S. 642, und Bd. 41, S. 712. *Ann. d. Physik*, 4. Folge, Bd. 22 und 24, 1907.

72. Kohärenz. Wenn Minerale solchen mechanischen Angriffen ausgesetzt werden, welche ihre Gestalt bleibend ändern, so zeigen sie sich in ihrem Verhalten oft ungleich und man sagt daher, daß ihre Kohärenz oder ihre Tenazität verschieden sei.

Versucht man, dünne Blättchen oder Stäbchen zu biegen, so werden einige, wie z. B. Glimmer, Asbest, nach der Einwirkung wieder in ihre frühere Lage zurückspringen, also große elastische Vollkommenheit zeigen, während andere Minerale, wie Chlorit, Gyps oder Talk, in der neuen Lage verharren, sich also biegsam erweisen.

Beim Schaben, Teilen und Kratzen der Minerale beobachtet man gewöhnlich unter knisterndem Geräusch ein Fortspringen der Splitter und des Pulvers, ferner ein häufiges Ausbrechen des Schnittes und freiwilliges Fortsetzen der entstandenen Sprünge. Minerale dieses Verhaltens sind spröde, z. B. Flußspat, Feldspat, während man als milde solche bezeichnet, deren Pulver nicht heftig wegspringt, sondern beim Schaben auf der Klinge liegen bleibt, wie z. B. Speckstein, Graphit. Entstehen gar keine Sprünge, bilden sich gar keine Splitter, kein Pulver, sondern gibt das Mineral dem eindringenden Messer oder der Spitze vollständig nach, so wird das Mineral geschmeidig genannt, wie das Gold, Silber, der Silberglanz. Die hierhergehörigen Minerale sind meistens auch dehnbar oder duktil, da sie sich zu dünnen Blechen hämmern oder zu Draht ausziehen lassen. Wenn ein Mineral sich entweder gar nicht oder nur sehr schwierig zerschlagen läßt, so wird es zähe genannt, wie z. B. Eisen und alle dehnbaren Metalle; ferner in geringerem Grade Nephrit und mehrere wirrfaserige Minerale.

73. Die Festigkeit der Körper, d. i. der Widerstand gegen Trennung, äußert sich am einfachsten bei Anwendung eines durch Gewichte hervorgebrachten Zuges bis zum endlichen Zerreißen. Sohncke prüfte die Zugfestigkeit von Steinsalzkristallen und fand, daß ein Stäbchen senkrecht zur Würfelfläche durch eine Belastung von 546 g auf den Quadratmillimeter des Querschnittes zerrissen wurde. Ein gleiches Stäbchen senkrecht zur Rhombendodekaederfläche verlangte eine Belastung von 1090 g, ein solches senkrecht zur Oktaederfläche 1178 g, um zu zerreißen. Die Zerreißungsflächen waren immer die Würfelflächen, nach welchen auch die Spaltung erfolgt. Später zeigten A. Sella und W. Voigt, daß die Zerreißungsfestigkeit nicht nur von der Orientierung der Längsrichtung, sondern auch von der Orientierung der Seitenflächen des Stäbchens abhängt. Stäbchen parallel einer Würfelkante zeigten kleinere Festigkeit, wenn die Seitenflächen Würfelflächen waren,

größere, wenn die Seitenflächen den Rhombendodekaederflächen entsprachen. Muscovitblättchen gaben bei den von Rinne ausgeführten Versuchen in der Richtung parallel 010 und senkrecht dazu Resultate, die sich wie 1 : 1·23 verhielten.

Die Festigkeit, welche die Minerale beim Zerdrücken erkennen lassen (rückwirkende Festigkeit), hat nur bei den Krystallen und amorphen Körpern eine bestimmte Größe. Bergkrystall erfordert nach Rinne in der Richtung der Hauptaxe 15000 *kg*, Orthoklas in der Richtung der aufrechten Axe 1700 *kg* pro Quadratcentimeter. Bei den krystallinischen Aggregaten hängt die Druckfestigkeit von der Art der Verbindung ab, in welcher sich die Individuen befinden. Dasselbe Mineral zeigt größere rückwirkende Festigkeit, wenn es dicht ist, als wenn es körnig erscheint. Würfel, welche aus einem Aggregate bestehen, wurden durch aufgelegte Gewichte zerdrückt, wobei für je einen Quadratmillimeter die folgende Zahl von Kilogrammen erforderlich war :

Nephrit	77·59 bis 44·22
Serpentin	35·55
Dichter, dunkelfarbiger Kalkstein	14·03
Körniger, weißer Kalkstein	10·41
Harter, erdig aussehender Kalkstein	3·06
Weicher, erdig aussehender Kalkstein	1·05

Ebenso verhält es sich mit den krystallinischen Mineralgemengen. Ein dichter Porphyr erforderte 24·78 *kg*, während ein körniger Granit, welcher aus denselben Mineralen besteht, 17·31 und ein anderer Granit 10·1 *kg* erforderte. Die rückwirkende Festigkeit kommt bei der Schätzung des Wertes der Baumaterialie in Betracht.

Sohneke, Poggend. Ann., Bd. 137, S. 177. Voigt, Ann. der Physik, Bd. 48, S. 663. Sella und Voigt, Ann. der Physik, N. F., Bd. 48, S. 636, 1893. Rinne, Jahrb. f. Min. 1903, Bd. 1, S. 160.

74. Spaltbarkeit. Bei der Betrachtung der Krystallformen ist schon wiederholt auf die Eigenschaft vieler Krystalle, nach ebenen Flächen spaltbar zu sein, aufmerksam gemacht worden. Die Spaltflächen werden entweder absichtlich durch Anwendung eines Messers, eines Meißels etc. hervorgerufen, oder sie erzeugen sich ohne unsere Absicht durch Druck oder Erschütterung, welchen die Krystalle oder Individuen ausgesetzt sind. Zuweilen kommen die Minerale schon zerspalten in unsere Hände, wie z. B. mancher Glimmer, Gyps, Bleiglanz, so daß dieselben so aussehen, als ob sie aus Blättern oder Würfeln zusammengesetzt wären, die ohne Anstrengung auseinandergenommen werden könnten. Unveränderte Individuen und Krystalle hingegen zeigen die Blätterung nicht und sind frei von Sprüngen. Die Spaltfläche bildet sich also an dem unveränderten Individuum erst im Augenblicke des mechanischen Eingriffes, und die Spaltung kann hierauf zu der einmal erhaltenen Fläche parallel wiederholt werden. Geht die Spaltung gut von statten, so erhält man den Eindruck, daß dieselbe immer weiter fortgesetzt werden könne und daß uns nur unsere mechanischen Hilfsmittel hindern, dieselbe bis ins unendlich Kleine zu verfolgen. Die Theorie sagt jedoch, daß dieselbe nur so weit ge-

trieben werden kann, bis das erhaltene Blättchen eine einzige Molekelschicht enthält oder bis die einzelnen Molekeln voneinander getrennt werden.

Senkrecht zu den Ebenen der Spaltbarkeit liegen Minima der Kohäsion, was durch die genannten Erscheinungen beim Zerreißen bestätigt wird. Über die Lage der Kohäsionsmaxima läßt sich aus der Lage der Spaltflächen nichts folgern.

Die Spaltflächen liegen immer bestimmten Krystallflächen parallel. Wird ein Krystall gespalten, so sind die Spaltflächen entweder solchen Flächen parallel, die auch äußerlich am Krystall wahrgenommen werden oder solchen, die am selben Krystall möglich sind. Bleiglanzwürfel sind parallel den äußeren Flächen spaltbar. Oktaeder von Bleiglanz spalten nach Flächen, welche die Ecken des Oktaeders abstumpfen und welche, als dem Hexaeder entsprechend, am selben Krystall möglich sind.

An einem krystallinischen Individuum ohne Flächenausbildung erfährt man durch Spaltung die Lage möglicher Krystallflächen und man kann in solchem Falle durch die Beobachtung der Spaltflächen öfter das Krystallsystem oder sogar eine einfache Kombination erkennen. Gleichen Krystallflächen sind auch gleiche Spaltungsflächen parallel, daher verraten Spaltflächen, welche nicht in gleichem Grade eben sind, die Ungleichheit der zu ihnen parallelen Krystallflächen. Man kann demzufolge die Spaltbarkeit zur Klassifikation der Krystallflächen benutzen oder die Richtigkeit der Auffassung einer Krystallform durch die Spaltbarkeit kontrollieren.

Durch Spalten läßt sich zuweilen eine geschlossene Form, eine Spaltungsform erhalten. Dieselbe kommt in ihrer Beschaffenheit einem Krystalle gleich, doch wird sie meistens verzerrt aussehen. Bleiglanz liefert verzerrte Würfel, bei einiger Sorgfalt wird man ziemlich ebenmäßige Würfel erhalten. Calcit gibt rhomboedrische Spaltungsstücke oder auch Rhomboeder. Aus Flußspat kann man Oktaeder, sechsfächige Formen, auch Tetraeder erhalten. Blende, welche nach dem Rhombendodekaeder spaltbar ist, liefert nur bei großer Sorgfalt die letztere Form, sonst aber verschiedene Gestalten, die weniger als zwölf Flächen haben. Glimmer, der bloß nach einer einzigen Fläche spaltbar ist, gibt keine Spaltungsform. Die monokline Hornblende, welche nach dem aufrechten Prisma spaltet, gibt, weil dieses eine offene Form, auch keine eigentliche Spaltungsgestalt.

Wenn die erhaltenen Spaltflächen so glatt und eben sind, daß sie das Licht ausgezeichnet oder vollkommen reflektieren, so wird die Spaltbarkeit als höchst vollkommen bezeichnet, wie am Gyps und Glimmer, oder als sehr vollkommen, wie am Baryt oder Calcit, oder als vollkommen, wie am Augit, Fluorit, dagegen als unvollkommen, wenn die erhaltenen Flächen nicht eben erscheinen, wie am Granat und Vesuvian. Bisweilen lassen sich noch Spuren einer Spaltbarkeit erkennen, wie am Turmalin, dessen Spaltung sehr unvollkommen genannt wird. Die erhaltenen Flächen erscheinen in manchen Fällen fein gerieft, indem äußerst schmale Flächenteile unter ein- und ausspringenden Winkeln zusammentreffen. Dies rührt von wiederholter Zwillingsbildung her und ist vorzüglich am Plagioklas (triklinen Feldspat) zu beobachten. Zähre Minerale lassen sich schwieriger, spröde hingegen leichter spalten. Geschmeidigkeit und Biagsamkeit ist auch oft beim Spalten hinderlich, wie man beim krystallinischen Eisen und beim Chlorit wahrnimmt.

75. Die Spaltflächen liegen im tesserale System den primären Flächen parallel. Man beobachtet am häufigsten die Spaltbarkeit parallel dem Würfel (100), wie beim Steinsalz und Bleiglanz, seltener jene nach dem Rhombendodekaeder (110), wie bei der Blende, und nach dem Oktaeder (111), wie am Rotkupfererz, Flußspat.

Der Analogie wegen pflegt man auch in den übrigen Krystallsystemen dort, wo verschiedene Deutungen möglich sind, die Spaltebenen als primäre Flächen anzunehmen.

Im tetragonalen System findet sich öfter die Spaltbarkeit nach der Endfläche (001), wie am Uranit, am Apophyllit; ferner nach einem aufrechten Prisma, welches als (100) oder als (110) aufgefaßt wird, wie am Zinnerz, Rutil, Skapolith. Tetragonale Krystalle mit stumpfer Pyramide haben meist Spaltbarkeit nach dem Prisma, solche mit steiler Pyramide Spaltbarkeit nach der Endfläche. Seltener ist die Spaltbarkeit nach (111), z. B. am Scheelit.

Das hexagonale System zeigt wieder als häufigste Spaltbarkeit die nach der Basis (0001), wie am Beryll, und nach einem Prisma, welches als Prisma I. Art (10 $\bar{1}$ 0) aufgefaßt wird, wie am Apatit, Nephelin. Nach der hexagonalen Pyramide bemerkt man selten eine Spaltbarkeit (Pyromorphit). Das trigonale System bringt eine eigentümliche Spaltbarkeit, nämlich jene parallel dem Rhomboeder mit sich (Calcit, Dolomit). Zu dieser tritt bei steilem Rhomboeder häufig Spaltbarkeit nach der Endfläche (z. B. Alunit), bei flachem Rhomboeder nach dem verwendeten Prisma (z. B. Phenakit).

Im rhombischen System beobachtet man am häufigsten Spaltbarkeit nach einer der drei Endflächen, wie z. B. am Topas, Diaspor. Selten zeigt sich Spaltbarkeit nach allen drei Endflächen, wie beim Anhydrit. Eine größere Anzahl von Mineralen ist nach einem Prisma spaltbar, welches entweder als aufrechtes oder als Längs- oder als Querprisma genommen werden kann. Bronzit, Weißbleierz, Baryt sind Beispiele. Häufig trifft Spaltbarkeit nach einem Prisma und nach einem dazu senkrechten Endflächenpaar zusammen, wie beim Baryt, der sehr vollkommen nach (010), vollkommen nach (101) spaltbar ist. Selten ist die Spaltbarkeit nach einer Pyramide, welche man als (111) annehmen wird, wie am Fluellit.

Von den monoklinen Krystallen bieten viele die Spaltbarkeit nach der Symmetrieebene (010) dar, wie der Gyps, der Orthoklas. Spaltungen senkrecht zur Symmetrieebene kommen auch häufig vor. Man wird ihre Richtungen als (100) oder (001) betrachten; beim Gyps wird sie als (100) genommen, während man sie beim Orthoklas als (001) bezeichnet. Ein Spaltungsprisma, welches parallel zur Symmetrieebene gestreckt ist, wird entweder als aufrechtes Prisma (110), wie bei Hornblende und Augit, oder als Längsprisma (011) oder als Grundpyramide ($\bar{1}$ 11) betrachtet, wie beim Gyps, an welchem die letztere Spaltbarkeit faserig erscheint.

Im triklinen System werden die Spaltebenen vor allem als Endflächen gedeutet, wie z. B. bei den Plagioklasen, welche in der Form Ähnlichkeit mit dem Orthoklas und die entsprechende Spaltbarkeit zeigen. Die beiden Ebenen der deutlicheren Spaltbarkeit werden hier als (010) und (001) aufgefaßt, während eine

dritte, weniger deutliche, als Prismenfläche (110) genommen wird, da sie eine ähnliche Lage besitzt, wie die Fläche des aufrechten Prismas beim Orthoklas.

Die Spaltbarkeit hat Hauy zu der Anschauung geführt, daß die Krystalle aus äußerst kleinen, regelmäßig geformten und lückenlos aneinanderstoßenden Partikeln aufgebaut sind, deren Flächen sich durch die Spaltbarkeit verraten: in seinen Krystallbildern hat er die Flächen deutlichster Spaltbarkeit mit *P*, *M*, *T* bezeichnet (pri-mi-tif), was zugleich an die angenommene Grundform erinnert. Ein Beispiel ist Fig. 96 auf S. 56. Aber auch die Hypothese der Raumgitter ist mit der Spaltbarkeit in Einklang zu bringen. Hienach sind die Spaltflächen parallel den primären Molekularebenen des Raumgitters, welche in den größten Abständen aufeinanderfolgen und in denen die Gitterpunkte am dichtesten geschart sind. Nun wird verständlich, daß im tesserale System nur die Spaltung nach (100), (110) oder (111) vorkommt. Dies entspricht den drei möglichen Raumgittern von tesseraler Symmetrie. Auch die oben angeführten Beziehungen zwischen Parametergrößen und Spaltbarkeit ergeben sich dann als notwendige Folgen der Hypothese [32].

A. Bravais: Études cristallographiques S. 165, E. Mallard: Traité de Crystallographie I. S. 298, H. Tertsch: Zeitschr. f. Kryst. Bd. 47, S. 56.

76. Die Minerale derselben Art haben gleiche Spaltbarkeit. Diese anfangs überraschende Konstanz, wie sie besonders schön am Kalkspat zu beobachten ist, hat schon die älteren Mineralogen auf den Bau der Krystalle aufmerksam gemacht und Hauy zur Begründung der Krystallographie angeregt. Die verschiedensten Rhomboeder und Skalenoeder, die sechsseitigen Säulen und Tafeln, alle die verschieden kombinierten Krystalle des Kalkspates lassen sich in gleicher Weise nach einem Rhomboeder von 105° Flächenwinkel spalten, dessen Hauptaxe parallel der Hauptaxe der ganzen Form ist. Aber auch die Individuen des körnigen und stengeligen Kalkspates geben beim Spalten dasselbe Rhomboeder, und in vielen Versteinerungen läßt sich dieselbe Spaltbarkeit verfolgen. Wie in diesem Beispiele verhält sich die Spaltbarkeit in allen anderen Mineralgattungen, daher sie ein ganz vorzügliches Merkmal ist, welches nicht bloß für Krystalle, sondern für alle krystallinischen Ausbildungen gilt und nur bei dem dichten Zustande eine Grenze findet, welche schließlich noch durch die mikroskopische Beobachtung überschritten werden kann.

Obgleich nun aber durch sehr viele Fälle gezeigt ist, daß die Spaltbarkeit bei derselben Mineralart konstant sei, kommen doch wieder solche Fälle vor, welche als Abweichungen von dieser Regel erscheinen. Diese scheinbaren Ausnahmen werden durch eine schalige Zusammensetzung hervorgebracht, welche ihren Grund in einer Zwillingsbildung oder in der schichtenförmigen Einlagerung eines fremden Minerals hat. Magneteisenerz, welches keine Spaltbarkeit besitzt, umfaßt Varietäten, welche eine schalige Zusammensetzung parallel den Oktaederflächen darbieten. Zur Gattung Pyroxen gehört eine Art (Diallag), welche eine ausgezeichnete schalige Zusammensetzung parallel der Querfläche zeigt, während andere Arten, wie der Salit, eine solche nach der Endfläche zeigen. Durch Zersetzung des Minerals wird sie öfter noch deutlicher, wie beim Diallag und Bronzit, worauf die Verwechs-

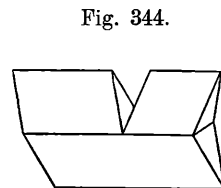
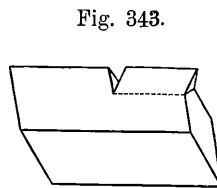
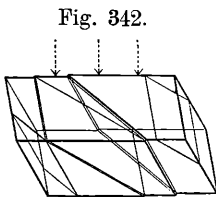
lung mit Spaltbarkeit noch leichter möglich ist. Da jedoch die schalige Zusammensetzung bei einer bestimmten Dicke ihr Ende erreicht, während die Spaltung sich ins Unmerkliche fortsetzt, so läßt sich der Zweifel in den meisten Fällen lösen.

77. Druckzwillinge. Manche Krystalle biegsamer Minerale, wie Chlorit, Gyps, zeigen unregelmäßige, durch Druck entstandene Verbiegungen. Auch spröde Krystalle, wie solche von Quarz, Epidot, erscheinen bisweilen durch den Gebirgsdruck verbogen. Werden diese letzteren genauer geprüft, so zeigt sich, daß sie fein zersprungen und daß die Sprünge wieder ausgeheilt sind. Derlei Deformationen sind unregelmäßige.

Manche krystallisierte Minerale zeigen bei Anwendung von Druck solche Verschiebungen der Teilchen, welchen zufolge dieselben in eine neue Gleichgewichtslage kommen, die einer Zwillingstellung entspricht. Hier ist die Deformation eine regelmäßige. Die Flächen, nach welchen die Verschiebung erfolgt, nennt Reusch Gleitflächen.

Die Verschiebung mit Umstellung der Teilchen wurde zuerst am Kalkspat beobachtet. Wie Pfaff und Reusch gezeigt haben, entstehen in einem Kalkspat-individuum durch Druck dünne Lamellen, welche parallel den Flächen $(01\bar{1}2) = -\frac{1}{2}R$ lagern und sich gegen die Hauptmasse des Individuums in Zwillingsstellung befinden, nach dem Gesetze, daß eine Fläche $01\bar{1}2$ die Zwillingsebene. Siehe Fig. 342.

So wie hier einzelne Schichten in Zwillingsstellung geraten, so kann durch Verschiebung vieler aufeinanderfolgenden Schichten ein vollständiger Zwilling erzeugt werden, wie H. Baumhauer gefunden hat. Wenn ein Spaltungsstück klaren Kalkspates mit einer stumpfen Kante auf eine feste Unterlage gestützt wird, während die dazu parallele stumpfe Kante zu oberst erscheint, und wenn die Schneide einer Messerklinge senkrecht gegen die letztere Kante in das Mineral



gedrückt wird, so dringt die Klinge so ein wie in einen geschmeidigen Körper. Die Sprödigkeit des Kalkspates scheint verschwunden. Die vordringende Klinge schiebt fortwährend neue Schichten zur Seite, und zwar in beistehender Figur nach rechts, daher dort bald ein einspringender Winkel sichtbar wird, Fig. 343, bis endlich ein großer Teil des Spaltungsstückes sich derart verschoben hat, daß das Ende rechts als ein richtiger Zwilling erscheint, Fig. 344. Man kann auf diese Weise und nach dem Wegspalten des Teiles links von dem Einschnitte vollständige künstliche Zwillinge erhalten. So wie der Kalkspat verhält sich nach den Beobachtungen Tschermaks auch der rhomboedrische Natriumsalpeter. Daß auch

in anderen Mineralen, wie im Anhydrit (rhombisch), Diopsid (monoklin), bei Anwendung von Druck solche Verschiebungen hervorgebracht werden und daß Zwillinglamellen entstehen, wurde von Mügge beobachtet. Krystalle, welche derlei durch Druck entstandene Lamellen enthalten, kommen gleichfalls in der Natur vor. Sie zeigen eine schalige Zusammensetzung. Diallag, Salit sind Beispiele dafür.

Später wird erwähnt werden, daß auch bisweilen durch Erwärmung Zwillinglamellen entstehen und verschwinden.

78. Translationsflächen. Manche Krystalle lassen Verschiebungen parallel bestimmten Krystallflächen zu, derart, daß der verschobene Teil mit seiner ursprünglichen Lage parallel und mit dem ganzen Krystall im Zusammenhange bleibt. Diese Erscheinung wird von Mügge als Translation und die Ebene der Verschiebung als Translationsfläche bezeichnet. Innerhalb dieser Ebene geschieht die Verschiebung in der Regel nur in einer bestimmten Richtung, der Translationsrichtung.

Ein lehrreiches Beispiel bietet das Verhalten, welches Eis (hexagonal) bei bestimmten Angriffen zeigt. Die Decke von Eis, welche sich auf gefrierendem Wasser bildet, besteht gemäß den Ergebnissen der optischen Prüfung aus parallelgelagerten Individuen, deren Hauptaxe zur Ebene der Platte senkrecht ist. Man kann demnach aus einer solchen Eisplatte ein vierseitiges Prisma schneiden, dessen lange Flächen der Hauptaxe parallel sind, während zwei kleinere Begrenzungsflächen dem Endflächenpaar $c = (0001)$ entsprechen.

Ein solches Eisprisma, Fig. 345, das an den beiden Enden der horizontalgelegten Hauptaxe unterstützt und in der Mitte durch eine herumgelegte Schnur und angehängte Gewichte belastet wird, biegt sich nicht, vielmehr schiebt sich durch Translation, parallel der Endfläche, eine der Dicke der Schnur entsprechende Platte heraus, so daß oben eine Rinne, unten ein Wulst entsteht. In der verschobenen Partie sowie in den Übergangszonen zeigt sich die Richtung der Hauptaxe ungestört. Hier hat der Druck parallel c und senkrecht zur Hauptaxe gewirkt und es hat sich gezeigt, daß im Eise $c = (0001)$ Translationsfläche ist.

Fig. 345.

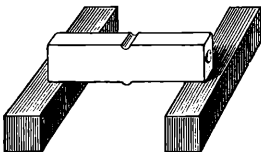


Fig. 346.

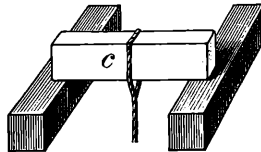
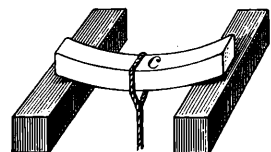


Fig. 347.



Wird hingegen aus der Eisplatte ein vierseitiges Prisma so geschnitten, daß eine lange Fläche parallel der Endfläche, und wird bei dem Versuche diese Fläche gegen den Beschauer gekehrt, Fig. 346, endlich durch eine herumgelegte Schnur und angehängte Gewichte ein Druck erzeugt, der jetzt wieder senkrecht zur Hauptaxe aber längs einer senkrecht zur Fläche c gelagerten Schicht einwirkt, so entsteht keine Verschiebung. Das Prisma gibt dem Zuge nicht nach, sondern bricht schließlich bei Vermehrung der Gewichte.

Ein dritter Versuch lehrt eine neue Erscheinung kennen. Wird ein Eisprisma, das wie das vorige geschnitten ist, so aufgelegt, daß das Endflächenpaar nach oben und unten gewendet ist, Fig. 347, so wird ein Zug, der wie in den vorigen Fällen angebracht ist, senkrecht zu c wirken. Jetzt folgt das Prisma dem Zuge, indem es sich abwärts krümmt. Diese Biegsamkeit ist aber eine Folge der Translation parallel c . Sie wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die Schichten des Eiskrystalles sich parallel c aneinander verschieben können. Der Eiskrystall verhält sich so wie ein Paket von Kartenblättern, die der Translationsfläche parallel sind. Ein solches Paket läßt sich biegen, wobei die einzelnen Blätter beiderseits der Ebene, in welcher die Belastung wirkt, sich um einen kleinen Betrag gegeneinander verschieben. Dieser Betrag nimmt mit der Entfernung von jener Ebene zu. Die Krümmung tritt also ein, wenn die Translation ihren Betrag von Ort zu Ort ändert.

Durch den dritten Versuch wird erklärlich, daß manche Krystalle sich in der einen Richtung biegen lassen, während sie bei Anwendung von Druck in einer anderen Richtung zerbrechen. An der Platte eines biegsamen Krystalles entstehen auf der konkav gewordenen Seite oft Runzeln und Fältchen, welche senkrecht zur Translationsrichtung verlaufen. An Krystallen von Antimonglanz (rhombisch) beobachtet man nicht selten eine Biegung, derart, daß die Längsfläche, die zugleich Ebene der vollkommensten Spaltbarkeit ist, parallel der a -Axe gekrümmt erscheint und Fältchen, parallel dieser Axe, zeigt. Hier ist also die Längsfläche (010) Translationsfläche und die aufrechte oder c -Axe Translationsrichtung. Ähnlich verhalten sich Gyps und Vivianit (beide monoklin). Die Translationsfläche ist (010), die Translationsrichtung die c -Axe. Am Disthen (triklin) ist die Translationsfläche (100), die Translationsrichtung die c -Axe. An Metallen, wie Gold, Silber, beobachtete Mügge eine Verschiebbarkeit parallel den Oktaederflächen, woraus die Plastizität der dehnbaren Metalle abgeleitet wird. Daß die Translation innerhalb der Individuen des Gletschereises mit den Erscheinungen der Gletscherströme, in welchen das Eis wie ein plastischer Körper sich verhält, zusammenhängt, ist nicht zu bezweifeln.

Von der Bildung der Druckzwillinge unterscheidet sich die Translation dadurch, daß im ersten Falle der verschobene Krystallteil in eine neue Gleichgewichtslage, die Zwillingstellung, übergeführt wird, während bei der Translation der verschobene Krystallteil die ursprüngliche Orientierung beibehält.

Unter den Laboratoriumsprodukten gibt es Krystalle von so leichter Translationsfähigkeit, daß die Oberflächenspannung in der Grenzschichte gegen die umgebende Flüssigkeit hinreicht, Formänderungen zu bewirken; und von diesen fließendweichen Krystallen sind Übergänge vorhanden zu Körpern, die sich nahezu wie Flüssigkeiten verhalten, Tropfenform annehmen, sich auf Glasplatten in dünnen Schichten ausbreiten, im optischen Verhalten aber Ähnlichkeit mit Krystallen zeigen (Flüssige Krystalle). Minerale dieser Art sind nicht bekannt.

M. Lehmann: Flüssige Krystalle, Leipzig, 1904. Schenck: Krystallinische Flüssigkeiten und flüssige Krystalle, Leipzig, 1905. Vorländer: Ber. d. d. chem. Ges. Bd. 39, S. 803.

79. Schlag- und Druckflächen. Durch Druck oder Schlag werden in vielen krystallisierten Mineralen ebenflächige Trennungen hervorgebracht, deren Lage von jener der Spaltflächen verschieden ist. Drückt man Krystalle oder Spaltungsstücke von Steinsalz in einer Schraubenpresse in der Richtung der Diagonale einer Würfel­fläche, so erhält man leicht Risse parallel einer Fläche des Rhombendodekaeders, während die Spaltbarkeit nach den Würfel­flächen verläuft. Auch durch Schlägen können solche Risse hervorgebracht werden. Die Glimmer lassen sich zwar durch Drücken oder Schlägen immer nur parallel der Endfläche spalten, doch zeigen größere Individuen von Glimmer, welche durch die wellige Oberfläche den erlittenen Druck verraten, häufig Trennungen schief zur Spaltung, die man schon öfter für Krystallflächen gehalten hat.

Man kann jene regelmäßigen Risse in kleinem Maßstabe durch ein von innen nach außen wirkendes Zersprengen hervorbringen, wenn man nach dem Vorschlage von Reusch einen zugespitzten Stahlstift (Körner der Metallarbeiter oder auch eine Graviernadel der Lithographen) auf die zu prüfende Krystall- oder Spaltungsfläche setzt und hierauf durch einen leichten Schlag die Spitze eindringen macht. Die entstehenden Sprünge treten oft zu mehreren auf, welche sich in dem Schlagpunkte kreuzen und Sternchen bilden. Die so entstehenden Figuren werden Schlagfiguren genannt.

Am Steinsalze ist die Schlagfigur ein vierstrahliger Stern, aus zwei sich kreuzenden Rissen bestehend, welche gegenüber dem Quadrate der Würfel­fläche diagonal gestellt sind. Fig. 348*a*. Da die Risse außerdem auf der geprüften Würfel­fläche senkrecht stehen, so liegen sie den Flächen des Rhombendodekaeders parallel, wie dies schon früher bei jenen durch Druck entstandenen Sprüngen bemerkt wurde. Auf der Oktaederfläche ist die Schlagfigur dreistrahlig, indem Risse normal zu den Kanten (111):(100) entstehen, welche wiederum zu Flächen (110) parallel sind. Fig. 348*b*.

Glimmerblättchen liefern als Schlagfigur einen sechsstrahligen Stern, aus drei sich kreuzenden Rissen bestehend, wovon einer einfach ist und der Symmetrieebene des monoklinen Mineralen parallel liegt, während die beiden anderen schief gegen die Endfläche treppenartig verlaufen und mehreren Flächen entsprechen, welche in der Zone zwischen Endfläche (001) und dem aufrechten Prisma (110) liegen. Fig. 349*a*. M. Bauer fand ferner, daß beim Drücken mit einem abgestumpften Stifte in den Glimmerplatten Risse entstehen, welche zusammen auch einen sechsstrahligen Stern geben, aber von den Rissen der Schlagfigur um je 30° abweichen. Die Risse dieser Druckfigur liegen einem Querprisma ($\bar{1}02$) und zwei Pyramidenflächen (133) parallel, genau so, wie dies an den in der Natur vorkommenden Trennungen am Glimmer zu sehen ist. Fig. 349*b*.

Am Calcit erhält man auf den Spaltflächen eine monosymmetrische Schlagfigur, welche aus zwei den Rhomboederkanten parallelen Sprüngen und einem zwischenliegenden System feiner Zwillinglamellen nach (01 $\bar{1}$ 2) besteht, Fig. 350*a*. Hier hat man gleichzeitig Trennung und Verschiebung der Teilchen in die Zwillingstellung. Auf der Prismenfläche erhält man eine fünfstrahlige Schlagfigur mit Trennungen parallel (0001), (10 $\bar{1}$ 1) und (11 $\bar{2}$ 0). Auf der Endfläche ist die

Schlagfigur dreistrahlig, mit Rissen parallel dem verwendeten Prisma und feinen Zwillingslamellen zwischen denselben. Fig. 350*b*. Die Figuren entsprechen hier wie überall dem Symmetriecharakter der Flächen, da die Rhomboederfläche und Prismafäche monosymmetrisch, die Basis trisymmetrisch ist.

Fig. 348.

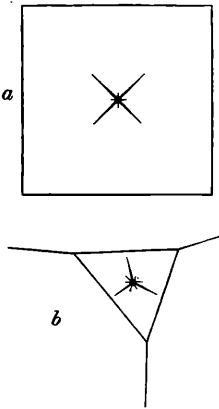


Fig. 349.

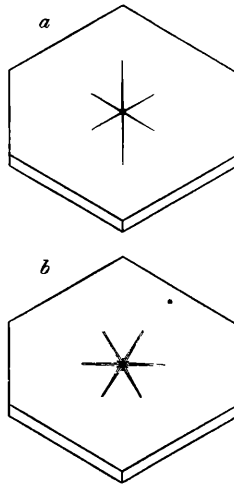
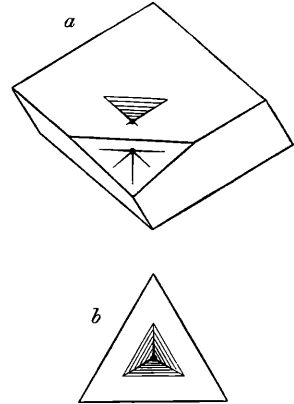


Fig. 350.



Eistafeln erhalten auf der Tafelfläche (0001) eine sechsstrahlige Figur.

Am Gyps erhielt Reusch sowohl durch Schlag als durch Verschiebung bestimmte Trennungsfächen.

Die Versuche bezüglich der Schlagfiguren haben ein begrenztes Gebiet, da sie nur an den weicheren Mineralen mit Erfolg ausgeführt werden können.

Literatur über die Erscheinungen bei Anwendung von Druck und Schlag: Reusch, Poggendorffs Ann., Bd. 132, S. 441, Bd. 136, S. 130. M. Bauer, Jahrb. für Min., 1882, Bd. 1, S. 138. H. Baumhauer, Zeitschr. für Krystallogr., Bd. 3, S. 588. Tschermak, ebendas., Bd. 2, S. 14, und Mineralog. Mitt., Bd. 4, S. 99. Mügge, Jahrb. für Min., 1883, Bd. 1, S. 32 und ff. Bde. Liebisch, Nachrichten d. Ges. der Wissensch. zu Göttingen, 1887, S. 435. Cesàro, Bull. soc. Min., Bd. 13, S. 192. Eis: Klocke: Jahrb. f. Min. 1879, S. 283. Translation: Mügge, Jahrb. für Min., 1898, Bd. 1, S. 71, und 1899, Bd. 2, S. 55. Eine Zusammenfassung der Resultate in d. Naturwiss. Rundschau, 1900, Bd. 15, S. 69. Vernadsky, Jahrb. für Min., 1899, Bd. 2, S. 351. Plastizität von Steinsalz und Sylvin: Rinne, ebenda, 1904, Bd. 1, S. 114. Zunahme der Plastizität bei Temperatursteigerung: L. Milch, ebenda 1909, I, S. 60.

80. Bruch. Durch Zerbreehen oder Zerschlagen der Minerale werden entweder ebene Flächen erhalten, welche als Spaltflächen früher besprochen wurden, oder es entstehen unebene Flächen, welche man den Bruch nennt. Je vollkommener die Spaltbarkeit, desto schwieriger ist es, den Bruch wahrzunehmen, während an den unvollkommen spaltbaren Individuen beim Zerbreehen vorwiegend Bruchflächen erhalten und die Spaltflächen erst bei aufmerksamer Beobachtung erkannt werden.

Betrachtet man in erster Linie die Krümmung der Bruchflächen, so zeigt sich, daß die Mehrzahl der Minerale Bruchflächen mit muschelähnlichen Vertiefungen und Erhabenheiten liefert, welche der muschelige Bruch genannt werden und wobei flach- und tiefmuscheliger, groß- und kleinmuscheliger Bruch, wohl auch vollkommen und unvollkommen muscheliger Bruch unterschieden werden. Die Ausdrücke ebener und unebener Bruch sind ohne weiteres verständlich. Bezüglich der anderen Eigenschaften der Bruchflächen unterscheidet man außer dem glatten Bruche noch den splittrigen, wofern an der Bruchfläche kleine, halb abgelöste Splitter haften, wie beim Feuerstein, ferner den hakigen, wofern die Bruchfläche viele feine, hakenförmige Teilchen zeigt, wie dies nur bei den dehnbaren Mineralen vorkommt, endlich den erdigen, bei matter, staubiger Bruchfläche, wie beim Ton und der Kreide.

81. Härte. Die Größe der Kohärenz macht sich in sehr bestimmter Weise geltend, wenn die Körper auf ebenen Flächen geritzt oder wenn sie geschabt werden. Der Widerstand, welchen ein Körper der Trennung seiner Teilchen beim Ritzen oder Schaben entgegensetzt, wird seine Härte genannt. Härte ist demnach so viel wie Ritzbarkeit. Die Prüfung durch Ritzen wird in den Fällen, welche keine große Genauigkeit beanspruchen, mit freier Hand ausgeführt, indem eine Spitze von Stahl oder das scharfe Eck eines Mineralen mit mäßigem Drucke über die ebene Fläche des zu prüfenden Mineralen geführt wird. Hierauf hat man sich zu überzeugen, ob ein Ritz entstanden ist oder ob nicht vielleicht die gebrauchte Spitze ein Pulver hinterlassen hat, weil dieselbe weicher ist als die zu prüfende Fläche. Ist die letztere nicht genug eben, so kann man bei der Härteprüfung leicht getäuscht werden, weil durch die bewegte Spitze Teilchen der Oberfläche abgerissen werden und ein merkliches Pulver entsteht, obwohl die Fläche härter ist als die verwendete Spitze. Körnige, blätterige und faserige Minerale sind für diese Härteversuche wenig geeignet, weil die prüfende Spitze zwischen die einzelnen Individuen eindringt und sie voneinanderreißt, anstatt sie zu ritzen. Erdige Minerale können gar nicht auf diese Weise geprüft werden. In solchen Fällen gewinnt man jedoch ein ziemlich sicheres Urteil durch den Polierversuch, indem das Pulver des zu untersuchenden Mineralen unter gelindem Drucke auf einer glatten Fläche von bekannter Härte verrieben wird, wobei die Fläche feine Ritze annimmt, wenn sie weicher ist als das in Frage stehende Mineral.

Man kann über die Härte eines Mineralen auch durch Schaben desselben mit einem Messer ein beläufiges Urteil gewinnen. Das Resultat wird aber genauer, wenn man, wie dies zuerst Werner getan, das Mineral auf eine Feile streicht, wobei das weichere mehr Pulver abgeben wird als das härtere. Wird die Feile auf einer Tischplatte oder auf einem Resonanzkästchen befestigt, so erzeugt sich beim Streichen auch ein Ton, welcher bei Anwendung des härteren Mineralen heller sein wird als beim Streichen mit einem weicheren. Zum Zwecke des Vergleiches muß man aber beiläufig gleich große und gleich geformte Stückchen der Minerale verwenden. Für Körper, welche härter sind als die Feile, ist die Methode natürlich nicht mehr anwendbar.

Um die Härte eines Mineralen in bestimmter Weise angeben zu können, wird ein Mineral aufgesucht, welches dem untersuchten Mineral in der Härte gleicht. Ausdrücke, wie Kalkspathärte, Quarzhärte, geben die gefundene Gleichheit an. Wird die Härte durch Ritzen bestimmt, so ist zu berücksichtigen, daß die Spitze oder das scharfe Eck auf einer Fläche von gleicher Härte bloß einen sehr schwachen Ritz hervorbringt. Kehrt man den Versuch um, d. h. nimmt man jetzt von dem geritzten Mineral ein spitzes Eck und prüft damit eine ebene Fläche des anderen Mineralen, so wird man wieder ein schwaches Ritzen beobachten.

Man könnte zum Zwecke der Härtevergleichung eine größere Reihe von Mineralen angeben, welche so aufeinanderfolgen, daß das vorangehende immer von dem folgenden geritzt wird, daß also die Härte mit jedem Gliede der Reihe steigt, worauf die Härte jedes Mineralen durch die Nennung eines Mineralen aus dieser Reihe oder Skala charakterisiert würde. Eine vielgliederige Skala wäre jedoch bei der geringen Genauigkeit, welche die gewöhnlichen Versuche an sich tragen, unpraktisch. Mohs hat daher mit richtiger Würdigung des vorliegenden Zweckes eine bloß zehngliederige Skala aufgestellt, deren man sich allgemein bedient:

Härtegrad 1 = Talk	Härtegrad 6 = Orthoklas
2 = Steinsalz	„ 7 = Quarz
„ 3 = Kalkspat	„ 8 = Topas
4 = Flußspat	„ 9 = Korund
5 = Apatit	„ 10 = Diamant.

Um die Härte durch Ritzen zu prüfen und nach dieser Skala angeben zu können, hält man Stücke der genannten Minerale bereit, an welchen sowohl ebene Flächen als scharfe Ecken auftreten. Beim Versuche beginnt man immer in der Weise, daß man, um die weicheren Glieder der Skala mehr zu schonen, mit dem zu prüfenden Mineral jenes Glied der Skala zu ritzen versucht, welches mutmaßlich etwas härter ist, worauf man in der Skala abwärts geht. Für die Versuche mit der Feile hat man Stückchen von geringerer Größe in Bereitschaft. Findet man die Härte genau gleich der eines Gliedes der Skala, so kann man dies durch Angabe der Nummer dieses Gliedes ausdrücken, z. B. H. = 4, anstatt Härte des Flußspates. Zeigt es sich, daß die gefundene Härte nicht genau gleich ist einem der aufgestellten Härtegrade, sondern daß sie zwischen zweien liegt, so kann man zur Ziffer des unteren Härtegrades ein Halbes hinzufügen. So heißt 3·5 ein Härtegrad, welcher zwischen dem des Kalkspates und dem des Flußspates liegt. Alle die Ziffern für die Härtegrade haben bloß den Sinn von Nummern. Sie geben wohl die Steigerung der Härte an, doch sind die Unterschiede der Härte zwischen den einzelnen Stufen ungleich.

Breithaupt wollte deshalb in die Skala zwei fernere Glieder einschalten; der Vorschlag fand jedoch keinen Anklang, weil die Mohssche Skala dem praktischen Bedürfnisse vollkommen genügt.

82. Zur genaueren Bestimmung der Härte dient ein Apparat, welcher zuerst von Seebeck konstruiert wurde und den man Sklerometer genannt hat. Fig. 351 und 352. Ein gleicharmiger Hebel trägt an einem Ende oberhalb eine Schale zur Aufnahme von Gewichten und unterhalb derselben eine abwärts gerichtete Spitze von Stahl oder Diamant. Die zu prüfende Mineralplatte wird auf der Unterlage *m* horizontal befestigt und bei dem Versuche durch Schiebung des Wagens *w* unter der Spitze vorbeigezogen, indem man ein konstantes Gewicht bei *g* wirken läßt.

Fig. 351.

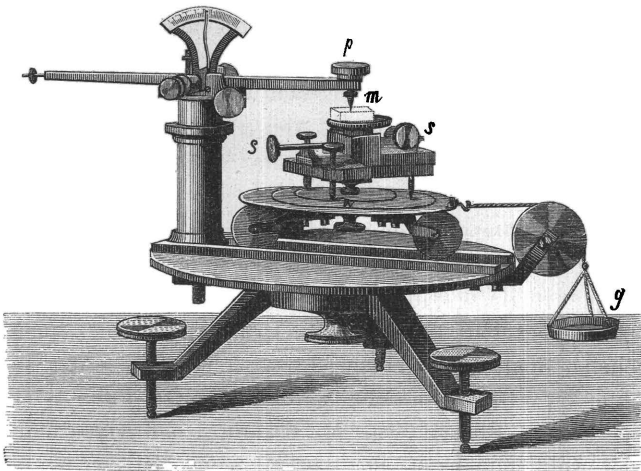
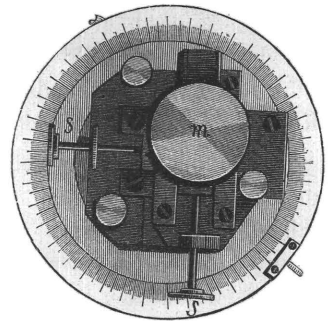


Fig. 352.



Bei jeder Wiederholung des Versuches wird die Spitze durch Vermehrung der Gewichte auf *p* stärker belastet, bis ein eben merklicher Ritz entsteht. Auf diese Weise läßt sich das Gewicht bestimmen, welches nötig ist, um einen Ritz hervorzubringen; die Härte läßt sich also durch Gewicht ausdrücken. Bei der Untersuchung von Krystallplatten werden dieselben zuerst so eingestellt, daß die Ritzung parallel einer Krystallkante geschieht. Ein Vollkreis erlaubt, nach Beendigung des ersten Versuches, die Krystallplatte um einen bestimmten Winkel zu drehen und so die Richtung anzugeben, nach welcher in der neuen Versuchsreihe die Ritzung erfolgt. Um die Krystallplatte parallel verschieben und den gleichen Versuch an mehreren Stellen wiederholen zu können, ist eine durch die Schrauben *s* verstellbare Schlittenvorrichtung angebracht.

Die Beobachtungen mit dem Sklerometer gestatten eine Beurteilung der in der Mohsschen Skala angenommenen Härtestufen. Jagger erhielt mit einem Instrumente, das später erwähnt wird, die Zahlen der ersten Columne auf der folgenden Seite, in welchen die Härte des Korunds = 1000 gesetzt ist. Rosiwal erhielt nach seiner gleichfalls später zu erwähnenden Schleifmethode die Zahlen in der dritten Reihe. In der zweiten Reihe sind jene Zahlen gesetzt, welche Gramme bedeuten, und die Franz mit dem vorgenannten Sklerometer ermittelte.

	Jaggard	Franz	Rosival
9. Korund	1000	—	1000
8. Topas	152	—	174
7. Quarz	40	—	117
6. Orthoklas.	25	—	37
5. Apatit	1·23	163	6 $\frac{1}{2}$
4. Fluorit.	0·75	36	5
3. Calcit.	0·26	9	4 $\frac{1}{2}$
2. Gyps	0·04	1·5	1 $\frac{1}{4}$ (Steinsalz).

Alle genaueren Versuche zeigen, daß der Unterschied der Härte zwischen den Anfangsgliedern der Härteskala viel geringer ist als zwischen den höheren Gliedern. Der Unterschied zwischen den höchsten Gliedern ist ein sehr großer. Die Edelsteinschleifer schätzen nach der Zeit, welche zum Polieren erforderlich ist, den Unterschied der Härte von Diamant und Korund viel größer als die Unterschiede der vorhergehenden Härtegrade. Rosival bestimmte das Verhältnis zwischen Korund- und Diamanthärte durch Schleifversuche und fand 1 : 140.

An manchen Krystallen und Spaltungsstücken wurde, lange bevor das Sklerometer in Gebrauch kam, die Wahrnehmung gemacht, daß krystallographisch verschiedene Flächen einen verschiedenen Härtegrad besitzen. Die älteren Mineralogen kannten schon die merkwürdige Eigenschaft des Disthens (Cyanits), auf der einen Fläche, welche der vollkommensten Spaltbarkeit entspricht, viel leichter geritzt zu werden als auf den anderen, und zwar fand man die Härte im ersten Falle = 5, während sie anderseits bis 7 steigt. Ebenso war es bekannt, daß Gyps und Glimmer auf den Flächen der vollkommensten Spaltbarkeit eine viel geringere Härte darbieten als auf den übrigen Flächen. Frankenheim verfolgte die Sache weiter, indem er mit feinen Nadeln, deren Spitze aus Kupfer, Stahl, Saphir etc. bestand, die Krystallflächen mit freier Hand zu ritzen versuchte. Dabei zeigte sich, was ehemals schon Huyghens am Kalkspat wahrgenommen hätte, daß auch auf derselben Krystallfläche öfter verschiedene Härtegrade auftreten, je nach der Richtung des Ritzens.

Von Seebeck, welcher das Sklerometer angab, ferner von Franz, Grailich und Pekarek, endlich von F. Exner sind seither viele Beobachtungen in dieser Richtung angestellt worden. Dieselben lassen den Zusammenhang erkennen, der zwischen dem Auftreten verschiedener Härtegrade auf den Krystallflächen (Flächenhärte) und der Spaltbarkeit besteht. Die allgemeinen Resultate sind folgende:

1. Härteunterschiede kommen bloß an solchen Krystallen vor, welche eine Spaltbarkeit besitzen. An diesen zeigen jene Flächen, welche der Spaltbarkeit parallel sind, die geringste, und jene Flächen, welche zur Spaltbarkeit senkrecht sind, die größte Härte.

2. Ist eine Fläche zur Spalttrichtung senkrecht, so zeigt diese Fläche parallel zur Spaltung die geringste, senkrecht zur Spaltung die größte Härte. Diese beiden Sätze harmonieren damit, daß senkrecht zu der Spaltebene ein Minimum der Kohäsion existiert [74].

3. Ist eine Fläche schief zur Spaltebene, so ergibt sich sogar ein Unterschied der Härte auf derselben Linie, indem sich die größere Härte zeigt, wenn die Spitze sich von dem stumpfen Spaltungswinkel gegen den scharfen zu bewegt (Richtung ac in Fig. 354), die geringere Härte hingegen, wenn die Spitze sich von der scharfen Kante gegen die stumpfe zu bewegt. (Richtung ab .)

4. Werden beim Ritzen gleichzeitig mehrere Spaltrichtungen getroffen, so addieren sich die denselben entsprechenden Widerstände.

5. Ist eine Fläche parallel zur Spaltung und wird sie von gar keiner ferneren Spaltrichtung getroffen, so zeigt sich auf derselben kein Härteunterschied.

Um die Größe der Härte und die zugehörige einseitige Richtung auf die gedachte Krystallfläche auftragen zu können, drückte Franz das Gewicht durch

Länge aus, so zwar, daß in der Richtung, welche zur Bildung eines Ritzes 3 Gramm erforderte, eine dreimal so lange Linie aufgetragen wird als in einer anderen Richtung, welche zum Ritzen bloß 1 Gramm erforderte. Wenn die Linien alle von demselben Punkte her strahlenförmig ausgezogen und ihre Endpunkte miteinander verbunden werden, so entsteht eine Härtekurve. Sie ist ein Kreis, wenn keine Härteunterschiede auftreten, sie ist eine Ellipse, wofern eine

einzig, zur untersuchten Fläche senkrechte Spaltbarkeit existiert, sie ist eine gelappte Figur, wofern die Fläche von mehreren Spaltrichtungen getroffen wird. In diesem Falle ist die Symmetrie der Härtefigur dieselbe wie jene der geritzten Fläche.

Der monokline Glimmerkrystall in Fig. 353 zeigt bloß nach der Fläche (001) vollkommene Spaltbarkeit, demgemäß ist die Härtekurve auf der Seitenfläche (010) eine Ellipse, welche durch ihre längere Axe anzeigt, daß die Härte senkrecht zur Spaltung am größten ist. Auf der Endfläche (001) ist die Härtefigur ein Kreis, weil hier kein Unterschied zu beobachten ist.

An dem Barytkrystall in Fig. 355 herrscht eine vollkommene Spaltbarkeit parallel dem Querprisma, ebenso eine parallel der Längsfläche, die hier quergestellt als Rhombus erscheint. Dementsprechend ist die Härtefigur auf der letzteren Fläche vierlappig, indem parallel zu den Prismenflächen Minimalrichtungen existieren. In der aufrechten Diagonale ergeben sich zwei Maxima, doch ist hier die Härte geringer als in den horizontalen Richtungen. Auf den Prismenflächen ist die Härtefigur auch vierlappig, Fig. 355, doch sollten die gegen die Kante ee gekehrten Lappen kürzer sein, weil nach diesen Richtungen die ritzende Spitze sich von der scharfen Spaltungskante gegen die stumpfe bewegt. Die Beobachtungen aber geben keinen deutlichen Unterschied.

Fig. 353.

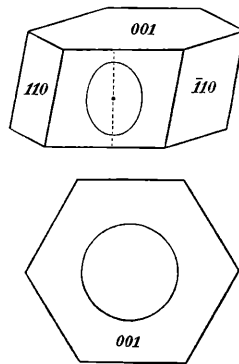


Fig. 354.

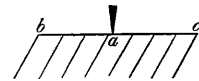
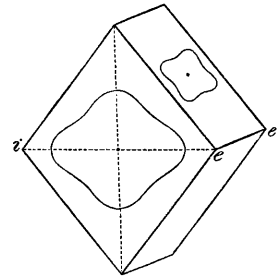


Fig. 355.



Der Kalkspat, Fig. 356, zeigt die geringste Härte auf den Rhomboederflächen, nach welchen er spaltbar ist. Die Härtekurve dieser Fläche ist vierlappig, der schwächste Lappen ist gegen den Pol des Rhomboeders gekehrt. Auf der Endfläche, die man durch Abstumpfen des Rhomboederpoles erhält, ist die Härtefigur dreilappig.

Fig. 356.

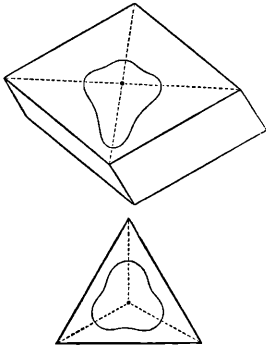


Fig. 357.

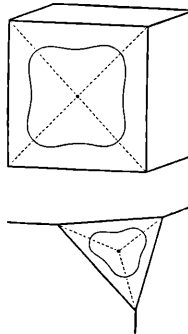
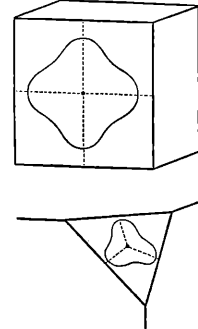


Fig. 358.



Das Steinsalz hat vollkommene Spaltbarkeit parallel den Würfelflächen. Demnach ist die Härtefigur auf diesen Flächen vierlappig, indem die Maxima der Härte den Diagonalen parallel sind, Fig. 357. Schleift man eine Oktaederfläche an, so zeigt sich auf dieser dreieckigen Fläche die Härte am größten beim Ritzen gegen die Würfelkanten zu, in entgegengesetzter Richtung am geringsten.

An dem Flußspat, Fig. 358, welcher eine andere Spaltbarkeit besitzt, indem er nach den Oktaederflächen spaltet, sind die Härteverhältnisse andere. Auf (100) ist die Härte senkrecht zu den Kanten am größten, und auf einer Oktaederfläche findet man die größte Härte, wenn man senkrecht gegen die Kombinationskante vom Oktaeder und Würfel ritzt.

Fig. 359.

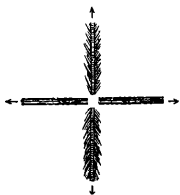
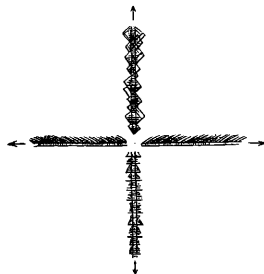


Fig. 360.



Die Verschiedenheit der Härte prägt sich oft in der mikroskopischen Beschaffenheit der erhaltenen Ritze aus. Auf der Querfläche des Baryts (vergl. Fig. 355) erscheinen die Ritze in den horizontalen Richtungen, welche die

größte Härte darbieten, fast wie einfache Rinnen, in den beiden senkrechten Richtungen aber mit feinen Sprüngen besetzt, Fig. 359. Auf den Spaltflächen des Calcits erscheinen die nach den horizontalen Richtungen erhaltenen Ritze gleich und mit einem einseitigen Bart besetzt, Fig. 360. Dem Härtemaximum nach abwärts entspricht eine Rinne mit zarter, monosymmetrischer Zeichnung, das Ritzen nach aufwärts liefert hingegen eine mit losgesprengten Täfelchen besetzte Rinne.

Pfaff hat anstatt der Methode des einfachen Ritzens eine andere versucht, indem er aus der Menge des bei wiederholtem Ritzen gebildeten Pulvers die Tiefe der erhaltenen Rinne berechnete und daraus auf die Härte schloß.

E. Müller erzeugte eine Rinne, indem er die Krystallfläche an ein rotierendes Rädchen aus hartem Stahl drückte.

A. Rosiwal bestimmte den Gewichtsverlust, den eine Fläche beim Abschleifen mit einer gemessenen Menge von Smirgel erfährt, und schloß daraus auf die Härte.

Das Auftreten von merklichen Härteunterschieden an demselben Krystall ist für die Bestimmung des Härtegrades keine willkommene Erscheinung, denn die Angabe der Härte soll eine einfache sein, wenn sie als Merkmal beim Bestimmen der Minerale dient. Bei den Mineralen mit vollkommener Spaltbarkeit wird daher für letzteren Zweck die mittlere Härte angegeben, welche am besten an den dichten Varietäten des bezüglichen Minerals ermittelt wird. Pfaff gab hiefür ein bohrendes Instrument an, das er Mesosklerometer nannte, und bestimmte aus der Zahl der Umdrehungen, welche zum Bohren gleichtiefer Löcher nötig sind, die mittlere Härte. Ein ähnliches und möglichst genaues Verfahren gab Jaggar an, der sein Instrument Mikrosklerometer nennt.

In neuerer Zeit wurde von Hertz der Vorschlag gemacht, den Druck, welcher zur Hervorbringung eines Sprunges oder einer Deformation auf einer glatten Krystallfläche durch ein belastetes hartes Kügelchen erforderlich ist, als Maß der Härte zu betrachten. Für den so gemessenen Widerstand dürfte jedoch nicht der Ausdruck Härte gebraucht, sondern es müßte eine andere, eine neue Bezeichnung eingeführt werden.

Lit. Frankenheim, De crystallorum cohaesione. Bratislav. 1829, außerdem in Baumgartners Zeitschr. f. Physik, Bd. 9, S. 94 und 194. Seebeck, Programm des Cöln. Realgymnasiums, Berlin, 1833. Franz, Pogg. Ann., Bd. 80, S. 37. Grailich und Pekarek, Sitzungsber. der Wiener Akad., Bd. 13, S. 410 (1854). Exner, Unters. über die Härte an Krystallflächen, Wien, 1873. Pfaff, Sitzungsber. der bayr. Akad., 1883, S. 55, und 1884, S. 255. Hertz, Verhandl. der Berliner phys. Ges., 1882, S. 67. Auerbach, Ann. der Physik, Bd. 43, S. 61. Jaggar, Zeitschr. f. Krystallographie, Bd. 29, S. 262 (1898). Egon Müller, Über Härtebestimmung, Jena, 1906. A. Rosiwal, Verhdl. der k. k. geol. Reichsanstalt, 1896, S. 475.

83. Ätzung. Wenn Krystalle der Einwirkung eines Lösungsmittels ausgesetzt werden, so zeigt sich, daß die Lösung auf verschiedenen Krystallflächen mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet. Die Auflösungsgeschwindigkeit ist auf krystallographisch gleichen Flächen gleich, auf verschiedenen Flächen ungleich.

So fand A. Körbs, indem er Platten von Alaun, die parallel den Würfel-, Rhombendodekaeder- und Oktaederflächen geschliffen waren, der Auflösung in einer untersättigten Alaunlösung aussetzte, die Auflösungsgeschwindigkeit verschieden. Setzt man die Auflösungsgeschwindigkeit der Oktaederplatte gleich 1, so ergibt sich aus seinen Experimenten für die Würfelplatte 1.03, für die Rhombendodekaederplatte 1.06. Beim Steinsalz fand er die Auflösungsgeschwindigkeit der Würfelfläche am kleinsten, der Oktaederfläche am größten, die Rhombendodekaederfläche gibt einen mittleren Wert. Zu ähnlichen Resultaten gelangten auch L. Brunner

und St. Tolloczko. Die Unterschiede sind hier klein, nur bei geringer Untersättigung, d. h. bei allmählicher Einwirkung merklich; sie verschwinden bei sehr starken Verdünnungsgraden.

Bei anderen Krystallen sind die Unterschiede größer; so fand St. Tolloczko die Auflösungsgeschwindigkeit von homogenen Platten aus Gypskrystallen

parallel (010)	1
„ (110)	1·76
„ (111)	1·88

Ähnliche Unterschiede sind auch zu beobachten, wenn Krystalle oder aus Krystallen hergestellte Platten der Einwirkung einer zersetzenden Flüssigkeit ausgesetzt werden. Becke stellte aus gleichartigen Flußspatkrystallen Platten parallel verschiedenen Krystallflächen her und bestimmte die Dicke der in gleichen Zeiten in Salzsäure von bestimmter Konzentration und Temperatur zersetzten Schichte; Platte parallel 100 210 110 311 211 111 221
Dicke der in einer Minute gelösten

Schichte in Mikron 2·51 12·59 11·18 6·85 10·56 6·67 13·06

Bei Behandlung von Fluoritplatten mit siedender Sodalösung wurde gefunden: Platte parallel 100 210 110 311 111 331
Dicke der zersetzten Schichte in

Mikron 8·0 7·5 3·5 12·5 6·0 7·5

Aus diesen Versuchen ersieht man die Abhängigkeit der Zersetzungsgeschwindigkeit von der Art des Ätzmittels; ferner ergibt sich die Tatsache, daß den primären Flächen des Flußspates (Würfel, Oktaeder, Rhombendodekaeder) bei jeder Art von Ätzung relative Minima der Zersetzungsgeschwindigkeit zukommen. Primäre Flächen haben kleinere Zersetzungsgeschwindigkeit als abgeleitete Flächen.

Am Kalkspat hat Hamberg bei Einwirkung mäßig verdünnter Salzsäure ähnliche Resultate erhalten. Er findet bei 15° C auf den Flächen:

10 $\bar{1}$ 1 02 $\bar{2}$ 1 10 $\bar{1}$ 0 0001 01 $\bar{1}$ 2 10 $\bar{1}$ 4 20 $\bar{2}$ 1

das Lösungsverhältnis 159 : 149 : 335 : 551 : 580 : 740 : 726

Auch hier zeigt sich auf Flächen mit einfacheren Indizes eine kleinere Lösungsgeschwindigkeit als bei Flächen mit höheren Indizes. Das Rhomboeder (02 $\bar{2}$ 1) hat die kleinste Lösungsgeschwindigkeit.

Diese Unterschiede der Lösungs- und Zersetzungsgeschwindigkeit machen sich auch geltend, wenn ganze Krystalle der Auflösung unterworfen werden.

Beim Eintauchen eines Aragonitkrystalles in verdünnte Säure beobachtet man eine raschere Ätzung der Prismenflächen gegenüber der Längsfläche (010). An den Quarzkrystallen mit sechsfächiger Endigung werden die abwechselnden Polkanten sehr stark, die anderen wenig angegriffen.

An den Kanten der Krystalle bilden sich öfter ziemlich ebene Abstumpfungen, Prärosionsflächen nach Hamberg. Ihre Lage und Verteilung folgt bei sorgfältiger Ausführung des Versuchs streng der Symmetrie des Krystalles; annähernd lassen sie sich manchmal durch rationale Indizes ausdrücken.

Am Quarz wurden solche Flächen nach der Ätzung mit Flußsäure zuerst von Leydolt erkannt. Es sind die in Fig. 361 mit 1, 2, 3 bezeichneten Ab-

stumpfungen. Rhomboeder ($10\bar{1}1$) von Calcit verwandeln sich durch starkes Ätzen mit Salzsäure oder Salpetersäure in die in Fig. 362 gezeichnete Form, die wie die Kombination eines Skalenoaders mit einem Rhomboeder aussieht.

Unterwirft man Kugeln, welche aus Krystallindividuen geschnitten werden, der Auflösung, so entstehen Gebilde, welche die symmetrische Verteilung der Lösungsunterschiede gut erkennen lassen. Die Regionen, welche durch große Lösungsgeschwindigkeit ausgezeichnet sind, treten als matte Abplattungen hervor; die Stellen der Kugeloberfläche, welche kleine Lösungsgeschwindigkeit haben, bleiben glatt und glänzend und werden schließlich in Form von Graten und Ecken sichtbar. Diese Gestaltveränderungen führen schließlich zu Körpern, die manchmal eine Ähnlichkeit mit flächenreichen Kombinationen darbieten. Dies zeigt Fig. 363,

Fig. 361.

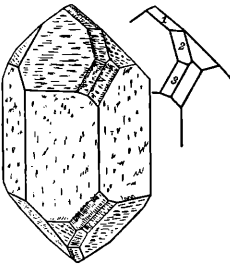


Fig. 362.

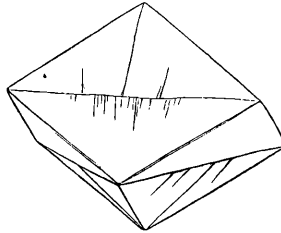
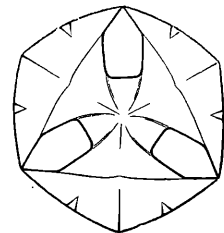


Fig. 363.



welche, von oben gesehen, die Form abbildet, welche eine Kalkspatkugel annimmt, wenn sie längere Zeit mit Salzsäure geätzt wurde. Deutlich sieht man daran die vorspringenden Ecken, welche den Normalen von $(02\bar{2}1)$ entsprechen, den Richtungen kleinster Zersetzungsgeschwindigkeit. Als Grate treten die Polkanten zonen dieses Rhomboeders hervor, neben anderen untergeordneten Graten.

84. Ätzfiguren. Wenn glatte Flächen von krystallinischen Individuen (Krystallflächen, Spaltflächen oder sorgfältig hergestellte Schliffflächen) durch auflösende oder zersetzende Flüssigkeiten oder Dämpfe eine nicht zu heftige Einwirkung erfahren, geben sich die Ungleichheiten der Kohärenz bezüglich des Lösungswiderstandes in eigentümlicher Weise zu erkennen. Nur in seltenen Fällen beobachtet man eine gleichmäßige Abtragung von Schichten, wie es im entgegengesetzten Sinne des Wachsens zu erwarten wäre. Meistens bilden sich auf der geätzten Fläche Ätzfiguren, d. i. Vertiefungen, Ätzgrübchen, oder Erhabenheiten, Ätzhügel, welche nach vorsichtiger Ausführung des Versuchs oft scharfe Umrisse darbieten und von ebenen Flächen, Ätzflächen nach Becke, begrenzt werden.

Auf Flächen mit kleiner Lösungsgeschwindigkeit entstehen meist Ätzgrübchen, bald dicht gedrängt, bald unregelmäßig zerstreut; sie verdanken ihre Entstehung wahrscheinlich immer unmerklichen Störungen des Krystallbaues, welche an diesen bestimmten Stellen ein rascheres Fortschreiten der Auflösung veranlassen. Auf Flächen mit großer Lösungs- und Zersetzungsgeschwindigkeit entstehen in der Regel dichtgedrängte Ätzhügel.

Man erhält die Ätzfiguren, wenn man die Flüssigkeit durch Übergießen, Eintauchen, den Wasserdampf durch Anhauchen etc. auf die zu ätzende Fläche wirken läßt. Am Diamant, der bei 800° C zu brennen anfängt, erzeugen sich beim Erhitzen in Luft und rascher in Sauerstoffgas Ätzfiguren, die man Brennfingern genannt hat. Die Ätzfiguren, besonders die Ätzhügel, sind oft sehr klein, so daß sie erst unter dem Mikroskop wahrgenommen werden können, zuweilen sind sie auch für das unbewaffnete Auge gut sichtbar. Auf derselben Krystallfläche liegen sie alle einander parallel. Dadurch entsteht auf geeignet geätzten Krystallflächen ein orientierter Schimmer, der durch die Reflexion des Lichtes an allen den kleinen parallel gestellten Ätzflächen erzeugt wird. Haidinger hat ihn als Krystalldamast bezeichnet. Nicht selten kann man beobachten, daß dieser Schimmer gleichzeitig auf mehreren aneinanderstoßenden Krystallflächen auftritt, woraus sich ergibt, daß an den Ätzfiguren dieser Krystallflächen Ätzflächen von gleicher oder doch sehr ähnlicher Lage vorkommen. Wenn in derselben Fläche zwei Individuen aneinanderstoßen, was bei Zwillingungsverwachsungen häufig vorkommt, so ist die Lage der Ätzfiguren auf den beiden Individuen häufig verschieden und es sind die letzteren oft schon durch den Schimmer unterscheidbar. Die Beobachtung der Ätzfiguren geschieht mittels des Mikroskopes entweder direkt an der geätzten Krystallfläche, im durchgehenden oder im auffallenden Licht oder an Abdrücken, welche mittels Hausenblase, Gelatine oder Kollodium hergestellt werden.

Form und Lage der Ätzfiguren entsprechen bei Krystallen der Symmetrie der geätzten Krystallfläche, daher sie ein vorzügliches Mittel ergeben, das Krystallsystem und die Symmetriestufe zu erkennen, welcher der untersuchte Krystall angehört. In der Beschreibung der Krystallformen jeder einzelnen Stufe wurde auch die Symmetrie der Flächen jeder einzelnen Form angeführt. Damit ist auch die Symmetrie der Ätzfigur auf jeder Fläche bezeichnet. Wofern die ursprüngliche Form des Krystalles keine charakteristischen Flächen zeigt, welche die Einreihung ermöglichen, ist die Beobachtung der Ätzungsformen das wichtigste Mittel der kristallographischen Klassifikation.

Die Regelmäßigkeit der Ätzfiguren folgt aus der bestimmten Orientierung der Richtungen gleicher und verschiedener Lösungsgeschwindigkeit. Die Form und das Auftreten dieser Figuren hängt jedoch nicht unmittelbar mit der Spaltbarkeit zusammen. Auch solche Minerale, die keine Spaltbarkeit erkennen lassen, zeigen oft die schönsten Ätzfiguren.

Die besondere Gestalt und Ausbildung der Ätzfiguren hängt von der Art der Ätzung ab. Häufig entstehen im ersten Moment sehr einfache Ätzfiguren, welche von primären Flächen oder diesen nahestehenden Vizinalflächen begrenzt werden.

Je nach Konzentration der Ätzmittel, Temperatur und Dauer der Ätzung werden die Figuren mannigfach modifiziert. Ätzmittel von verschiedener chemischer Zusammensetzung bringen verschiedene Figuren hervor, und oft erzeugt ein Ätzmittel auf einer Fläche Ätzgrübchen, wo ein anderer Ätzhügel hervorbringt und umgekehrt. So erzeugen an Pyritkrystallen

Säuren auf der Würfelfläche Ätzgrübchen,
 auf der Oktaederfläche Ätzhügel,
 Ätzkali auf der Würfelfläche Ätzhügel,
 auf der Oktaederfläche Ätzgrübchen.

Die Ätzflächen sind bei Ätzung mit Säuren Vizinale von Pentagonododekaedern, bei Ätzung mit Alkali Vizinale von Triakisoktaedern.

Als Beispiele mögen folgende Beobachtungen von Ätzfiguren dienen: Der Muscovit (Kaliglimmer), welcher früher für ein rhombisches Mineral gehalten wurde, zeigt nach dem Ätzen mit Flußsäure auf der Fläche vollkommener Spaltbarkeit (001) monosymmetrische Figuren, die meist von krummen Linien

Fig. 364.

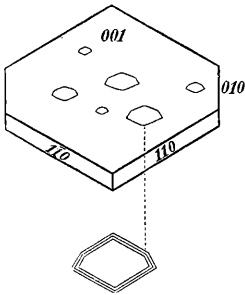


Fig. 365.

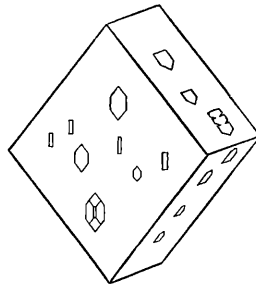
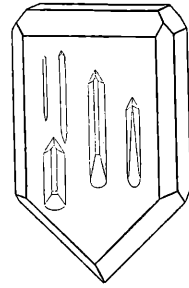


Fig. 366.



eingeschlossen sind, Fig. 364, jedoch bilden sich auch solche mit geradlinigen Umrissen, wovon eine unterhalb vergrößert dargestellt ist. Durch diese Beobachtung ist das monokline System des Mineralen angedeutet, welches auch durch andere Beobachtungen bestätigt wird. Krystalle von Baryt, welche zuerst mit einer heißen Lösung von kohlen saurem Natron und nachher mit Salzsäure behandelt werden, zeigen auf den Rhombenflächen, Fig. 365, vierseitige oder sechsseitige, disymmetrische Figuren, auf den Flächen des Querprismas, welche einen monosymmetrischen Charakter haben, dementsprechend auch monosymmetrische Ätzfiguren. Die hemimorphen Krystalle des Kieselzinkerzes, Fig. 366, geben auf den Quer- und Längsflächen Figuren, welche oben und unten ungleich sind, was wiederum dem Charakter dieser Flächen, welche zufolge des Hemimorphismus monosymmetrisch sind, entspricht. Da die Ätzfigur vertieft ist, so liegt ihre Spitze in bezug auf das spitze Ende des Krystalles umgekehrt. Spaltungsstücke von Calcit geben beim Ätzen mit Salzsäure auf den Rhomboederflächen Figuren, welche oft von krummen Linien eingeschlossen sind, Fig. 368, aber stets eine monosymmetrische Form haben. Die oft vorkommenden Figuren mit geradlinigen Umrissen haben die Form *b*, welche Flächen dreier verschiedener Skalenooeder und eines Rhomboeders nebst der dem Grundrhomboeder parallelen Fläche aufweisen. Geschieht die Ätzung mit verdünnter Schwefelsäure, so haben die Ätzfiguren eine etwas verschiedene Form, nämlich die unter *e*, welche aber gleichfalls monosymmetrisch ist. Wird an das Spaltungs rhomboeder eine Endfläche angeschliffen und diese geätzt, so erhält man Figuren, welche, wie in *c* und *d* erkennbar, trisymmetrisch

sind, was wiederum dem Charakter der geätzten Fläche entspricht. Anders als der Calcit verhält sich der Dolomit, dessen durch Salzsäure hervorgerufene, asymmetrische Ätzfiguren auf $(10\bar{1}1)$ in der Fig. 370 dargestellt sind. Sie entsprechen der Stufe II. Ätzt man Quarzkrystalle (Stufe III) mit Flußsäure, so bedecken sich die Flächen mit feinen Figuren, welche durch die Form oder durch ihre Lage den asymmetrischen Charakter aller Flächen dartun und zugleich den Unter-

Fig. 367.

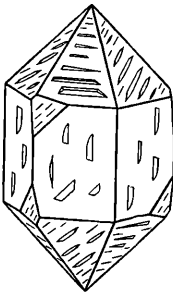


Fig. 368.

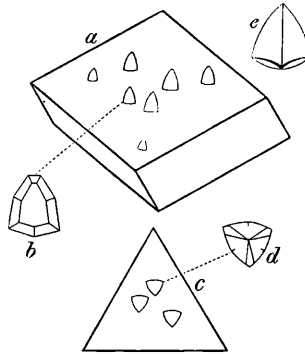
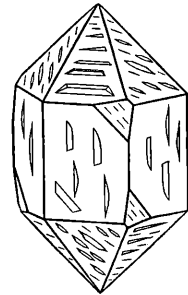


Fig. 369.



schied der beiden Rhomboeder $(10\bar{1}1) = +R$ und $(01\bar{1}1) = -R$ hervorheben. Die Fig. 367 zeigt das Verhalten eines linken Krystalles. Ein rechter, Fig. 369, zeigt dieselben Figuren in der anderen Stellung. Durch Ätzen mit einer warmen Lösung von Kaliumkarbonat oder Natriumkarbonat erhält man ähnliche Figuren, welche nach Molengraaffs Vergleichung den Grübchen sehr ähnlich sind, die an vielen von der Fundstelle genommenen Quarzkrystallen beobachtet werden. Würfel von Steinsalz, welche feuchter Luft ausgesetzt waren, zeigen häufig vierseitige Vertiefungen, deren Umrisse den Würfelkanten parallel sind und deren Flächen einem Tetrakishexaeder entsprechen. Diese Erscheinung wurde schon von Mohs beobachtet. Ähnliche Figuren geben die Spaltungswürfel des gediegenen Eisens bei der Behandlung mit Säuren.

Die beim Ätzen entstehenden Vertiefungen schließen bisweilen in solcher Weise aneinander, daß die zwischenliegenden Erhabenheiten eine selbständige charakteristische Form annehmen und als Ätzhügel erscheinen, die sich wie Subindividuen verhalten. Becke, welcher die Ätzhügel zuerst konstatierte, beobachtete am Bleiglanz beim Ätzen mit Salzsäure auf den Würfelflächen zuerst Vertiefungen und nach längerer Einwirkung der Säure die Bildung achtseitiger Pyramiden, wie sie Fig. 371 auf 001 vergrößert darstellt. An der Blende fand er bei gleicher Behandlung auf den positiven Tetraederflächen dreiseitige trisymmetrische Vertiefungen, Fig. 372, auf den Flächen des Rhombendodekaeders dagegen monosymmetrische Ätzhügel. Die Flächen beider haben aber, wie die Ziffern andeuten, dieselbe Lage, welche einem Trigondodekaeder entspricht. Hier tritt der S. 172 erwähnte Fall ein, daß der Schimmer, hervorgerufen durch den Lichtreflex einer Art von Ätzflächen, z. B. der mit 1 bezeichneten, zugleich auf der Tetraederfläche

und auf zwei benachbarten Rhombendodekaederflächen 101 und 011 beobachtet wird.

Eine wichtige Anwendung der Ätzmethode ist jene bei der Prüfung des Baues mimetischer Krystalle, z. B. der des Boracits und Perowskits.

Wenn künstliche Durchschnitte von Krystallen oder Individuen dem Ätzen unterzogen werden, so bilden sich Ätzfiguren, deren Symmetrie der Lage des Schnittes entspricht; jedoch zeigen sich bisweilen Abnormitäten, indem auf den Schnitten oder Spaltflächen die normale Ätzfigur nur dort auftritt, wo die Schnitt-

Fig. 370.

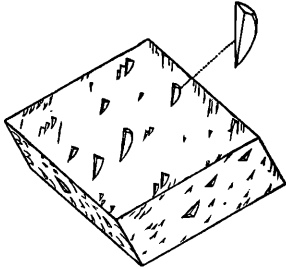


Fig. 371.

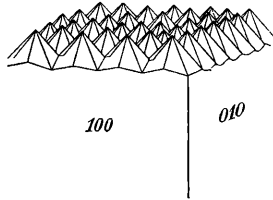
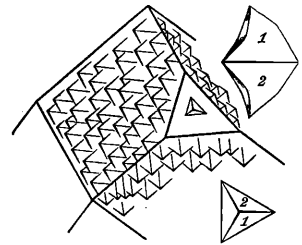


Fig. 372.



oder Spaltebene die Anwachspyramide [55] jener Fläche trifft, zu der sie parallel ist, während überall dort, wo andere Anwachspyramiden durchschnitten werden, verzerrte Ätzfiguren entstehen. Wird durch einen Fluoritwürfel parallel der vorderen Würfelfläche eine Schnittfläche gelegt, so durchschneidet sie im Mittelfelde die vordere Anwachspyramide 100, die Randteile aber durchschneiden die Anwachspyramiden der benachbarten Würfelflächen. Nur auf dem Mittelfelde erscheinen, wie Becke beobachtete, die normalen Ätzfiguren, in den Randfeldern hingegen etwas rhombisch verzerrte und reihenförmig angeordnete Figuren.

Da die Anwachspyramiden immer nur infolge von Einschlüssen oder von Lücken im Krystallbau Verschiedenheiten zeigen, da ferner die Verteilung der Figuren auf der geätzten Fläche in der Mehrzahl der Fälle eine so unregelmäßige ist, wie die Verteilung der durch das Mikroskop erkennbaren Lücken im Krystall, so ist es wahrscheinlich, daß die Bildung der Ätzfiguren mit der Vertiefung jener Grübchen beginnt, welche als submikroskopische Lücken in der Fläche schon bestanden haben.

Durch die Ätzung wird auf Schnittflächen der Zwillingbau, der netzförmige Bau, die parallele Verwachsung oder Schichtung sehr deutlich. Ein Beispiel geben viele Meteoreisen. An Schnittflächen, die poliert und nachher mit einer Säure geätzt wurden, tritt der Aufbau, welcher parallel den Oktaederflächen gelagerte Lamellen zeigt, sehr deutlich hervor. (Siehe Meteoreisen im Anhang.)

85. Natürliche Ätzung. An den Krystallen der verschiedensten Minerale beobachtet man natürliche Ätzfiguren. Dadurch ist der Anfang einer Auflösung bezeichnet, welcher diese Minerale ausgesetzt waren. Das umgebende flüssige

Medium hat demnach im Laufe der Zeit seinen Charakter geändert, so daß nach Ablauf der bauenden Tätigkeit ein Abtragen des fertigen Krystalles begonnen hat. Das matte Aussehen mancher Krystallflächen und jener Schimmer; welcher dem durch Ätzen entstehenden Krystalldamast gleicht, verrät auch eine natürliche Ätzung.

An den natürlichen Krystallen werden oft solche Flächen beobachtet, welche die größte Ähnlichkeit mit Prärosionsflächen haben. Die Quarzkrystalle von Palombaja auf Elba, welche G. v. Rath beschrieb, die von Groth beschriebenen Amethyste aus Brasilien bieten Flächen dar, welche diesen Charakter an sich tragen. Viele der kleinen, an den Kanten der Krystalle auftretenden Vizinalflächen sind als

Fig. 373.

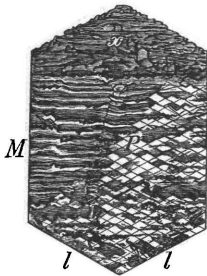


Fig. 374.

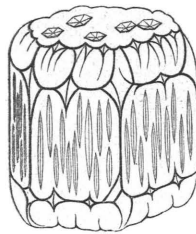
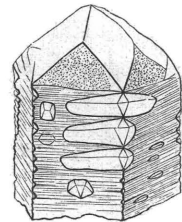


Fig. 375.



Prärosionsflächen aufzufassen. Oft erscheinen Krystallflächen mannigfach korrodiert, wie jene an dem Adularkrystall, dessen Oberansicht in Fig. 373 dargestellt ist. Andere Krystalle zeigen Ätzfiguren und Prärosionsflächen zugleich, wie der korrodierte Beryllkrystall in Fig. 374, welcher auf der Endfläche tiefe Ätzfiguren, an den Ecken Prärosionsflächen wahrnehmen läßt. Manche Krystalle sehen wie zernagt und zerfressen aus. Dann treten ebene und gekrümmte Korrosionsflächen, auch Höhlungen auf, wie an dem korrodierten Quarzkrystall in Fig. 375.

Lit. Die merkwürdigen Ätzfiguren des schaligen Meteoreisens wurden 1808 von Widmannstätten in Wien entdeckt. Schreibers, Beitr. zur Gesch. meteorischer Stein- und Metallmassen. Wien, 1820, S. 70. Später machte Daniell seine Beobachtungen über die Ätzung von Eisen, Kalkspat etc. bekannt. Schweiggers Journ., Bd. 19, S. 38. Leydolt beschrieb 1855 die Erscheinungen an geätzten Achaten, später die am Aragonit und Quarz. Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 15, S. 59, und Bd. 19, S. 10. H. Baumhauer veröffentlichte seit 1874 seine hierhergehörigen Arbeiten, die in dem Werke: Die Resultate der Ätzmethode in der kristallographischen Forschung, Leipzig, 1894, enthalten sind. Tschermak in Tschermaks Min. und petrogr. Mitt., Bd. 4, S. 99. Becke, ebendas., Bd. 5, S. 457 und ff. Bde. Ebner, Sitzungsber. d. Wiener Akad., II. Abt., Bd. 87, S. 368, und Bd. 91, S. 760. Hamberg, Molengraaff und andere Aut., in d. Zeitschr. f. Kryst., in den Ber. der Berliner Akad. Buttgenbach im Bulletin de la soc. belge de Géologie, t. 15, Febr. 1902. Gaubert, Bulletin de la soc. minéralogique d. F., t. 24, pag. 326. Goldschmidt und Wright, Jahrb. d. Min., 18. Beilagebd., S. 355 (1903) mit Literaturangaben. Anomale Ätzfiguren: Baumhauer, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 30, S. 97. Über Lösungsfiguren: F. Exner, Sitzungsber. d. Wiener Akad., II. Abt., Bd. 69, S. 6, über die Erscheinungen der Ätzflächen etc., auch Lavizzari, Nouveaux phénomènes des corps cristallisés, Lugano, 1865. Beziehung zwischen Lösungsgeschwindigkeit und Wachstum: A. Johnson, Auflösung und Wachstum der Krystalle, Leipzig, 1910. A. Körbs, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 43. St. Tolloczko und seine Mitarbeiter in Anzeiger der Krakauer Akad., 1907 u. 1910. Die Literatur über Lösungsgeschwindigkeit ist zusammengestellt von Ritzel in Fortschritte der Mineralogie, Bd. 1, S. 586 u. ff.

86. Verstäubung. Manche wasserhaltige Minerale verlieren, wenn sie der trockenen Luft ausgesetzt sind, das enthaltene Wasser teilweise oder ganz, wobei sie sich zuerst mit einer trüben Rinde bedecken und schließlich in eine lockere Masse verwandeln oder zu Pulver zerfallen. Dieser Vorgang soll hier als Verstäubung bezeichnet werden¹⁾. Der Beginn der Erscheinung zeigt sich an den Krystallen oft in der Art, daß einzelne, unregelmäßig verteilte trübe Pünktchen oder Flecken auftreten, die sich allmählich vergrößern. Der Umriß derselben ist zwar meistens krummlinig und nähert sich oft einem Kreise oder einer Ellipse, jedoch entspricht derselbe einer abgerundeten Ätzfigur, und nach Entfernung der verstäubten Partikelchen findet sich darunter ein Ätzgrübchen. Die Lage und die schärfere Form der Verstäubungsfiguren auf der Krystallfläche harmonieren daher immer mit der Symmetrie der letzteren. Beispiele für das Auftreten dieser Erscheinung liefern Krystalle von Borax, Zinkvitriol etc. Man hat nur selten Gelegenheit, die Verstäubungsfiguren an Mineralien zu beobachten, weil die bezüglichen Minerale nicht häufig in ausgebildeten Krystallen gefunden werden.

Pape, in Pogg. Ann., Bd. 124, S. 329, Bd. 125, S. 513. Sohneke, in d. Zeitschr. f. Kryst., Bd. 4, S. 225. Blasius, ebenda, Bd. 10, S. 221. Schenck, Centralbl. f. Min. 1900, S. 313.

87. Optische Eigenschaften. Die Beobachtung der optischen Erscheinungen liefert ungemein wichtige Kennzeichen, die oft in einfacher Weise bestimmbar und die häufig auch zahlenmäßig ausdrückbar sind. Außerdem lassen die Lichterscheinungen an Krystallen den Zusammenhang zwischen den gesetzmäßigen Formeigenschaften der Krystalle und dem physikalischen Verhalten derselben am deutlichsten und vollkommensten hervortreten. Sie leiten zur Erkennung des Krystallsystems an winzigen Körnchen, Blättchen, Splittern durchsichtiger Minerale, wo andere Hilfsmittel der Bestimmung versagen. Diese Vorteile verdankt die Mineralphysik dem Umstande, daß die optische Untersuchungsmethode zu größter Feinheit und Mannigfaltigkeit gediehen ist, und zwar durch Anwendung der Theorie, die gegenwärtig zu großer Vollkommenheit ausgebildet erscheint.

Die optischen Erscheinungen lassen sich nämlich aus einer Annahme, aus einer Grundvorstellung, mit aller Sicherheit und Vollständigkeit ableiten. Nach dieser wird das Licht als eine Bewegung aufgefaßt, die, wie jede Bewegung, zu ihrer Fortpflanzung Zeit braucht. Das erste, was also in Betracht kommt, ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die eine enorm große ist, aber durch die verschiedenen Medien in bestimmter Weise modifiziert wird. Da das Licht sich auch im leeren Raume ausbreitet, so ist das Bewegte nicht ein wahrnehmbarer, sondern ein hypothetischer, schwerloser Stoff, der Äther, von dem angenommen wird, daß er den Weltraum und alle Körper durchdringt. Die Lichtbewegung ist eine wellenförmige, wofür die Wellenbewegung einer Wasserfläche ein Gleichnis. Die Schnelligkeit, mit der die Wellenbewegung fortschreitet, entspricht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Bewegung der Teilchen aber ist eine schwingende, und die

¹⁾ Man bezeichnet ihn gewöhnlich als Verwitterung. Da jedoch dieser Ausdruck bereits für die chemische Veränderung der Minerale durch die Atmosphären in Verwendung gekommen ist, so wurde für die obgenannte Erscheinung ein anderes Wort gebraucht.

Schwingungen finden im gewöhnlichen Licht senkrecht zu der Fortpflanzungsrichtung statt. Je größer der Ausschlag, die Schwingungsweite, desto größer die Intensität des Lichtes. Jenen Wellenschlag, welcher die Netzhaut des Auges zu erregen vermag, empfinden wir als Licht, andere als diese bestimmten Ätherschwingungen vermögen wir nicht direkt wahrzunehmen. Die Lichtwellen können verschiedene Wellenlängen haben, und deren Unterschiede ($0\cdot000683$ *mm* rot, $0\cdot000410$ *mm* violett) entsprechen der Verschiedenheit der Farbe. In dem gewöhnlichen weißen Lichte sind Schwingungen aller zwischenliegenden Wellenlängen enthalten.

In vielen Körpern vermag sich die Lichtbewegung nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit fortzupflanzen, diese werden optisch isotrope genannt. In den krystallisierten Körpern, mit Ausnahme der tesseralen, ändert sich die Geschwindigkeit mit der Richtung. Diese werden als optisch anisotrope Körper bezeichnet.

In den vollkommen durchsichtigen Körpern wird die Intensität der hindurchgehenden Lichtschwingungen wenig verändert, in den undurchsichtigen aber herabgesetzt, endlich aufgehoben: Absorption. Die Intensität kann aber auch durch gegenseitige Einwirkung von gleichzeitigen, aber entgegengesetzten Schwingungen vermindert oder aufgehoben werden: Interferenz. Im gewöhnlichen Lichte finden die Schwingungen geradlinig und senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung statt, um diese herum aber in allen möglichen Richtungen. Unter Umständen werden jedoch die letzteren Richtungen bestimmte, indem die Teilchen entweder nach Art eines einfachen Pendels hin und her schwingen oder elliptische bis kreisförmige Bahnen beschreiben: Polarisirtes Licht.

Zur Ableitung der einfachen Lichterscheinungen genügt die Vorstellung von der Fortpflanzung in der Form eines dünnen Lichtbündels. In diesem hat man unzählige Wellen anzunehmen, derart, daß die gleichen und gleichzeitigen Schwingungsarten in demselben Querschnitt liegen: Wellenfront. Die Axe des Lichtbündels ist im gewöhnlichen Lichte senkrecht zur Wellenfront und bezeichnet die Fortpflanzungsrichtung: Lichtstrahl.

Lit. Hier kann auf die früher [70] angeführten Lehrbücher verwiesen werden, und es sind bezüglich der speziellen Ausführungen hervorzuheben: Beer, Einleitung in die höhere Optik, 2. Aufl., bearbeitet von v. Lang. Liebisch, Grundriß der physikalischen Krystallographie, Leipzig, 1896. Groth, Physikalische Krystallographie, 4. Aufl., 1905. Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie der Minerale, 4. Aufl., her. von Wülfing 1904, Poekels, Lehrbuch der Krystalloptik, 1906, und wegen des Historischen: Becker, Krystalloptik, Stuttgart, 1903.

88. Lichtreflexion. Ebene, glatte Flächen isotroper Medien reflektieren das Licht in der Weise, daß 1. der einfallende und der zurückgeworfene Strahl in einer Ebene (Einfallsebene) liegen, welche auf der spiegelnden Fläche senkrecht ist, und daß 2. beide Strahlen mit einer im Reflexionspunkte auf der spiegelnden Fläche senkrecht gedachten Linie (Einfallslot) gleiche Winkel bilden. Die Gesetze der einfachen Reflexion finden Anwendung bei der Messung der Krystallwinkel mittels des Reflexionsgoniometers, von welchem früher die Rede war.

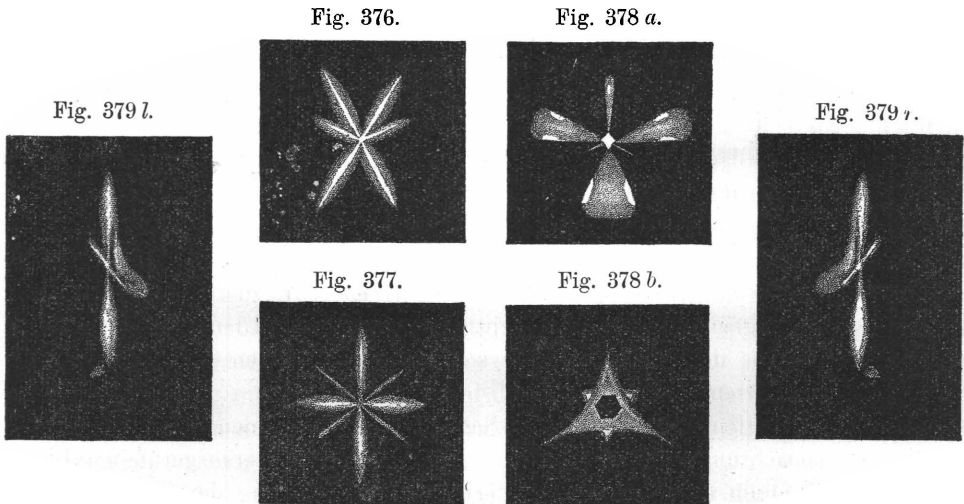
Flächen, welche zwar glatt sind, aber feine Riefen oder Leistchen tragen, zeigen verschiedene Abänderungen der Reflexion. Geht ein einziger Zug paralleler Riefen, d. i. rinnenförmiger Vertiefungen, über eine Fläche, so wird man eine Lichtflamme gut reflektiert sehen, wenn die Einfallsebene der Riefung parallel ist, dagegen wird das Lichtbild verzerrt und in die Länge gezogen erscheinen, wenn die Fläche eine andere Lage hat, und zwar erscheint das Lichtbild senkrecht zur Riefung verlängert. Durch diesen Umstand wird gar manche Messung am Reflexionsgoniometer gehindert. Wenn eine Fläche nach zwei Richtungen gerieft erscheint, so wird die Reflexion noch mehr verändert. Hält man eine Krystallfläche von solcher Beschaffenheit nahe ans Auge und betrachtet nun das Bild einer Lichtflamme, die nicht zu nahe gerückt sein darf, so sieht man einen vierstrahligen Stern, bestehend aus zwei sich kreuzenden Lichtstreifen, deren Richtung senkrecht zu den Riefensystemen ist. Man hat häufig Gelegenheit, an natürlichen Krystallflächen die erstere Erscheinung wahrzunehmen, während das Auftreten des Sternes wegen der geringen Häufigkeit der mehrfachen Riefung seltener ist.

Ist eine natürliche Krystallfläche mit regelmäßigen, feinen Erhabenheiten (Subindividuen) bedeckt, so erzeugt sie, wie Brewster zuerst beobachtet hat, Reflexe von mannigfacher Form, also Lichtfiguren von verschiedener Gestalt, welche stets der Symmetrie der bezüglichen Krystallfläche entsprechen.

An den geätzten Flächen krystallisierter Minerale kann man ähnliche Erscheinungen, zuweilen sogar in großer Schönheit, wahrnehmen. Brewster benützte die Beobachtung dieser durch orientierte Reflexion hervorgerufenen Lichtfiguren zum Studium der durch Ätzung erzeugten Veränderung der Krystallflächen. Da die vertieften Ätzfiguren von kleinen, ebenen Flächen gebildet werden, deren Lage der Symmetrie der geätzten Fläche entspricht, und da die Ätzfiguren derselben Fläche einander parallel sind, so müssen bei der Beobachtung des Reflexes einer Flamme mit genähertem Auge Lichtfiguren wahrgenommen werden, deren Gestalt ebenfalls der genannten Symmetrie gehorcht. Jede Fläche der Ätzfigur erzeugt einen Reflex, daher besitzt die Lichtfigur so viele Äste, als die durch Ätzung entstandenen Figuren Seiten haben. Die Reflexe der Lichtfiguren können geradeso wie die Reflexe der Krystallflächen zu Messungen mit dem Reflexionsgoniometer benützt werden. Da beim Ätzen jene kleinen Flächen, welche unter stumpfen Winkeln zusammenstoßen, häufig zu krummen Flächen verschmelzen, so zeigen die Lichtfiguren auch öfter krumme Formen, das Auge erblickt Lichtbogen oder Figuren, die aus bogenförmigen Elementen zusammengesetzt sind. Für die Ausmessung krummer Reflexzüge leistet das zweikreisige Goniometer gute Dienste. Die Lichtfiguren werden entweder direkt an der geätzten Krystallfläche oder an den durchsichtigen Abdrücken, welche mit Hausenblase erhalten werden, beobachtet. An diesen letzteren sowie an geätzten, durchsichtigen Krystall-Lamellen erhält man auch im durchfallenden Lichte die entsprechenden Figuren.

Die nachstehenden Beispiele von Lichtfiguren beziehen sich auf die früher bei der Ätzung angeführten Krystallflächen und haben Stellungen, welche jenen der dort bezeichneten Ätzfiguren entsprechen.

Der Muscovit zeigt auf 001 eine sechsstrahlige Lichtfigur von monosymmetrischer Form, Fig. 376, jeder Strahl ist senkrecht zu einer Seite der Ätzfigur. Vergl. Fig. 364 auf S. 173. Der Baryt läßt auf jener Endfläche, nach welcher er spaltbar ist, nach der Ätzung eine achtstrahlige Lichtfigur erkennen, Fig. 377, welche man leicht mit der Gestalt der Ätzfigur in Zusammenhang bringt. Der Calcit bietet auf der Fläche 10 $\bar{1}1$ nach der Ätzung mit Salzsäure eine monosymmetrische Lichtfigur, welche an manche Blumen erinnert, Fig. 378*a*. Jede stumpfe Kante der Ätzfigur liefert zwei Flammenbilder, welche durch einen Bogen ver-



bunden sind. Die geätzte Endfläche liefert eine trisymmetrische Lichtfigur, Fig. 378*b*, welche wiederum der in Fig. 368*d* abgebildeten Ätzfigur entspricht. Der Quarz gibt auf der mit Flußsäure geätzten Rhomboederfläche eine asymmetrische Lichtfigur, und zwar liefert ein linker Krystall die erste, ein rechter Krystall die zweite Fig. 379. Die geätzte Steinsalzfläche gibt einen rechtwinkligen, vierstrahligen Stern mit gleichen Strahlen.

89. Eine den Lichtfiguren verwandte Erscheinung ist der Asterismus. Mancher Sapphir zeigt einen sechsstrahligen Stern, wenn man durch eine zur Hauptaxe dieses rhomboedrisch krystallisierten Mineralen senkrechte Platte eine Lichtflamme betrachtet. Auch beim Daraufsehen auf den Sapphir erblickt man den Stern, und zwar besonders deutlich, wofern der Stein halbkugelig über die Hauptaxe geschnitten ist. Dieser Effekt, welchen schon A. Quist im Jahre 1768 beschrieb, rührt höchstwahrscheinlich von ungemein feinen, röhrenförmigen Hohlräumen (negativen Krystallen) her, welche parallel den Seiten des sechsseitigen Prismas auftreten. Mancher Glimmer läßt nach G. Rose ebenfalls einen sechsstrahligen Stern wahrnehmen, wenn man durch denselben gegen eine Lichtflamme sieht. Hier kann man sich aber durch mikroskopische Untersuchung überzeugen, daß feine stabförmige oder leistenförmige Einschlüsse, wahrscheinlich von Rutil,

welche in drei Richtungen lagern, die sich unter 60° schneiden, in großer Anzahl darin auftreten. Siehe Fig. 329 auf S. 132. Senkrecht zu diesen Richtungen erblickt man die Lichtstreifen, und es bleibt kein Zweifel, daß die Einschlüsse das Phänomen veranlassen.

Jeder Zug von parallelen, stabförmigen Einschlüssen bringt in der dazu senkrechten Richtung eine Verzerrung des Lichtbildes hervor. Daher sieht man in Mineralen, welche bloß ein System von feinen gestreckten Einschlüssen enthalten, bloß einen Lichtstreifen. Ebenso verhalten sich parallelfaserige Minerale. Wird eine Platte senkrecht gegen die Fasern geschnitten, so bemerkt man beim Durchsehen gegen die Lichtflamme einen Lichthof oder Halo. Faserige Minerale, welche über die Fasern rundlich oder halbkugelig geschliffen sind, zeigen einen wogenden Lichtschein, wie man dies am Fasergyps, am Katzenauge wahrnehmen kann. Auch jene Krystalle, in denen gestreckte parallele Hohlräume anzunehmen sind, wie der brasilische Chrysoberyll, geben einen wogenden Lichtschein.

Das Schillern, welches an manchen Krystallen auftritt, ist ebenfalls eine Reflexionserscheinung. Im Sonnenstein und im roten Carnallit sind es parallelgelagerte Schüppchen von Eisenglanz oder Goethit, im Bronzit und Diallag feine Täfelchen von Mineralen oder Ausfüllungen von negativen Krystallen; im Adular, Mondstein, im Apatit sind es parallele, tafelförmige oder prismatische Hohlräume (negative Krystalle), welche das Schillern verursachen. Somit ist unter dem Ausdruck Schillern eine Lichtreflexion an kleinen Flächen zu verstehen, welche in krystallisierten Körpern parallel gelagert sind.

Literatur über Lichtfiguren: Brewster, in d. Edinburgh Transactions, Bd. 14 (1837) und im Philosophical Magazine, 1853. F. v. Kobell, Sitzungsber. d. bayr. Akademie, 1863, S. 60. Haushofer, Asterismus und Lichtfiguren des Calcits, München, 1865. — Über Asterismus: Haüy, *Traité de Minéralogie*, 2. ed., 1822, II., pag. 90. Babinet, *Comptes rend.*, 1837, pag. 762, und *Pogg. Ann.*, Bd. 41. Volger, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.*, 1856, Bd. 19, S. 103. G. Rose, *Monatsberichte der Berliner Akad.*, 1862, S. 614, und 1869, S. 344. Grüel, *Pogg. Ann.*, Bd. 120, S. 511. Tschermak, *Zeitschr. für Krystallogr.*, Bd. 2, S. 36. R. Brauns, *Jahrb. f. Min.*, 1907, I., S. 13. — Über das Schillern: Scheerer, 1845, *Pogg. Ann.*, Bd. 64, S. 153. Reusch, ebendas., 1862, Bd. 116, S. 392, Bd. 118, S. 256, und Bd. 120, S. 95. Judd, *Quarterly Journ. of the Geol. Soc.*, Bd. 41, S. 354. Tertsch, *Tschermaks Min. u. petr. Mitt.*, Bd. 21, S. 248.

90. Glanz. Das Licht wird um so vollständiger nach derselben Richtung zurückgeworfen, je glatter und ebener die Oberfläche ist, welche die Reflexion bewirkt. Minerale mit glatter Oberfläche zeigen demnach einen Glanz, der aber verschiedene Grade haben kann, welche man mit den Worten stark glänzend, glänzend und wenig glänzend bezeichnet. Ist nur noch ein höchst geringer Glanz bemerklich, so ist die Oberfläche schimmernd, wie die Bruchfläche des dichten Kalksteins oder Alabasters. Die Abwesenheit jeden Glanzes wird durch das Wort matt ausgedrückt. Erdige Minerale, wie Kreide oder Kaolin, sind Beispiele dafür.

Das Licht erleidet bei der Reflexion mancherlei Veränderung, auch mischt sich solches bei, welches in das Mineral eingedrungen und von dort wieder zurückgekehrt ist. Das Zusammenwirken dieser Lichtarten ergibt verschiedene Arten des Glanzes, von welchen man folgende unterscheidet:

Metallglanz, der stärkste Glanz, wie er an glatten Metallflächen zu beobachten ist. Man bezeichnet als Abstufungen den vollkommenen und den unvollkommenen Metallglanz.

Diamantglanz, ein sehr lebhafter Glanz, wie er am Diamant, an der Zinkblende vorkommt. Er nähert sich zuweilen schon dem Metallglanz und wird dann als metallartiger Diamantglanz bezeichnet.

Glasglanz, die gewöhnlichste Art des Glanzes, welchen das gemeine Glas, der Quarz, der Baryt zeigen.

Fettglanz, der Glanz eines mit fettem Öle bestrichenen Körpers, wie er auf Bruchflächen des Schwefels zu sehen ist. Minerale, welche viele krystallinische Einschlüsse enthalten oder Gemische aus amorphen und krystallinischen Theilen sind, haben häufig diesen Glanz. Beispiele sind der Eläolith, der Pechstein.

Perlmutterglanz, nach dem eigentümlichen Glanze der Perlmutter. Minerale, welche aus durchsichtigen Blättchen bestehen, die sich nicht vollkommen berühren, zeigen Perlmutterglanz, wie der Talk. Eine Glimmertafel, welche vordem Glasglanz zeigte, wird durch Druck und Biegung, welche ein Aufblättern erzeugen, perlmutterglänzend. Auf den Flächen vollkommener Spaltbarkeit zeigt sich Perlmutterglanz, wofern schon eine Trennung der Schichten eingetreten ist, so am Glimmer, am Gyps. Hat das perlmutterglänzende Mineral zugleich eine Farbe, so entsteht der metallartige Perlmutterglanz, wie z. B. an manchem braunen Glimmer.

Seidenglanz, an feinfaserigen Mineralen, wie am Fasergyps, Asbest vorkommend, wie die vorige Art des Glanzes von der Textur des Mineralen herührend.

Lit. Haidinger, i. d. Sitzungsber. d. Wiener Akad., 1848, November 9, S. 137. Brücke, ebendas., Bd. 43 (1861). Wundt, Heidelberger Jahrb., Bd. 54 (1861). Dove, Pogg. Ann., Bd. 83, S. 169.

91. Durchsichtigkeit. Ein Mineral, welches in dicken Schichten so klar ist, daß man eine Schrift durch dasselbe erkennen kann, wird durchsichtig genannt. Wenn aber die Färbung eines Mineralen intensiv ist, so wird eine dickere Schichte desselben die Schriftzeichen nicht mehr erkennen lassen und das Mineral wird undurchsichtig erscheinen. So z. B. ist eine dünne Platte von Augit oder Epidot grün und durchsichtig, eine dickere dunkelgrün, ein mäßig dicker Krystall schwarzgrün und undurchsichtig. Verschieden von den undurchsichtigen sind die trüben Minerale. Wenn eine an sich durchsichtige Masse infolge ihres Gefüges oder durch beigemengte Theilchen oder durch feine Hohlräume, welche eine Reflexion an ihrer Begrenzung veranlassen, getrübt ist, so wird sie auch in dünnen Schichten keine Klarheit zeigen, sondern sich bloß durchscheinend erweisen, wie z. B. der Chalzedon, der Milchquarz, Feuerstein. Wenn bloß an den scharfen Kanten etwas Licht hindurchgeht, nennt man sie kantendurchscheinend. Wenn feine Risse die Ursache der Trübung sind, so wird das Mineral zuweilen durch Flüssigkeiten durchscheinend, wie der Hydrophan, welcher im Wasser auffallend durchscheinend gemacht werden kann.

Die Minerale, welche einen vollkommenen Metallglanz besitzen, lassen auch in solchen dünnen Schichten, wie sie durch Schleifen erzeugt werden können, gar kein Licht hindurch. Körper von dieser Eigenschaft nennt man opak. Echter Metallglanz und Opazität sind miteinander enge verbunden.

In ganz außerordentlich dünnen Schichten lassen auch die Metalle eine geringe Menge Licht hindurch, wie dies an den Metallhäutchen von Gold, Platin, Silber zu sehen ist, welche bei bestimmten chemischen Operationen erhalten werden können.

92. Einfache Lichtbrechung. Von dem Lichte, welches an die Grenze zweier Medien gelangt, wird im allgemeinen bloß ein Teil reflektiert. Ein anderer Teil dringt in das neue Medium ein, in welchem, wofern es durchsichtig ist, der Lichtstrahl weiter verfolgt werden kann. Fällt der einfallende Strahl schief auf die Grenzfläche, so erfährt derselbe bekanntlich eine Ablenkung von seiner früheren Richtung, er wird gebrochen. Der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet, heißt Einfallswinkel e , der Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslot aber Brechungswinkel oder Refraktionswinkel r . Anfänglich kannte man bloß das Verhalten durchsichtiger Flüssigkeiten und des Glases bei der Brechung. Für optisch isotrope Körper gelten die von Snellius aufgefundenen und von Cartesius formulierten Gesetze:

1. Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene. 2. Der Einfallswinkel und der Brechungswinkel haben für denselben Körper ein konstantes Verhältnis ihrer Sinus, welches Brechungsexponent oder Brechungsquotient n heißt.

$$\frac{\sin e}{\sin r} = n$$

Der Brechungsquotient ist immer so aufzufassen, daß er für Licht gilt, welches aus dem leeren Raume in den bezüglichen Körper gelangt. Beim Eintritt in Luft erfolgt eine äußerst schwache Brechung. Brechungsquotient für Luft 1·000294. Für alle flüssigen und starren Körper ist er bedeutend größer als 1. Für verschiedene Lichtarten (Wellenlängen oder Farben) ist er verschieden, auch die Temperatur hat einen Einfluß. Der Brechungsquotient beträgt bei 19° C für:

Wasser.....	1·3336 (gelb)	Steinsalz	1·5442 (gelb)
Fluorit.....	1·4353 „	Blende.....	2·369 „
Alaun.....	1·4536 „	Diamant	2·417 „
Sylvin	1·4903 „	„	2·407 (rot)

Der Theorie nach rührt die Ablenkung des Lichtstrahles beim Eintritt in ein dichteres Medium von dem Widerstande des letzteren her, welcher die Geschwindigkeit des Lichtes verringert. In der Tat ergibt sich aus den Versuchen von Foucault, daß das Licht im Wasser eine Geschwindigkeit hat, welche bloß $\frac{3}{4}$ von derjenigen in Luft beträgt. Da der Brechungsquotient des Wassers fast genau $\frac{4}{3}$ ist, so erkennt man hier ein Beispiel für den allgemeinen Satz: daß die Lichtgeschwindigkeiten sich umgekehrt verhalten wie die Brechungsquotienten.

Wenn angenommen wird, daß in dem ersten isotropen Medium ein Lichtbündel, dessen durch O' gelegter Querschnitt gleicher Schwingungsarten (Wellenfront) im Profil die Linie MO

ergibt, auf die Grenze zweier isotroper Medien $O O'$ schief auffällt, Fig. 380 *b*, und nun ein Teil des Lichtes in dem zweiten isotropen Medium sich weiterbewegt, so wird hier an dem Charakter des Lichtes bloß die Geschwindigkeit verändert, während die Schwingungen um die Fortpflanzungsrichtung herum gleichartig und senkrecht zu der letzteren stattfinden.

Nach einer von Huyghens herrührenden Vorstellung kann jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer allseitigen Ausbreitung der Lichtbewegung angesehen werden. Die

Fig. 380 *a*.

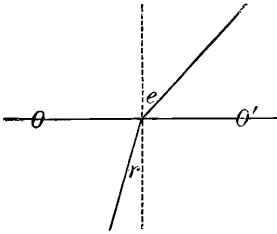


Fig. 380 *b*.

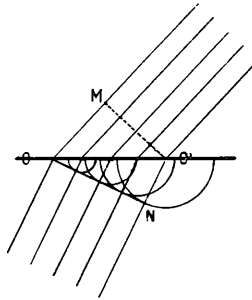
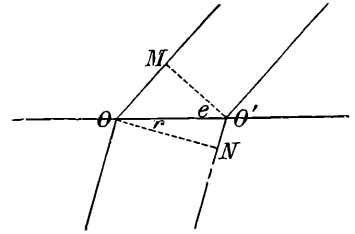


Fig. 380 *c*.



resultierende Lichtbewegung ist dann die Tangentialfläche der einzelnen Elementarwellen. Bei einem isotropen Medium sind die Elementarwellen kugelförmig, da die Lichtgeschwindigkeit nach allen Richtungen gleich ist.

Von den Punkten der Oberfläche O' bis O gehen daher in der Reihe, wie sie von der Wellenfront $O'M$ getroffen werden, gleichartige halbkugelförmige Elementarwellen in das untere Medium. Faßt man den Moment ins Auge, wo der Punkt M der Wellenfront in O angekommen ist, so wird sich inzwischen von dem Punkt O' aus eine halbkugelige Welle ausgebreitet haben, deren Radius $O'N$ sich zu OM verhält wie die Lichtgeschwindigkeit im neuen Medium zu der im alten. Von den Punkten der Oberfläche zwischen O' und O , die nacheinander und später als O' von der Wellenfront $O'M$ im Fortschreiten getroffen werden, sind in dem betrachteten Moment Elementarwellen von immer kleinerem Radius ausgegangen.

Die wirklich im neuen Medium fortschreitende Welle ist dann die Umhüllende aller jener Elementarwellen; unter den hier eintretenden Verhältnissen ist es eine Tangierungsebene, die von O aus an die in O' mit dem Radius $O'N$ konstruierte Halbkugel gelegt wird (Fig. 380 *b*).

Es ist, da $MO \perp MO'$ und $NO \perp NO'$ (Fig. 380 *c*)

$$OO' = \frac{MO}{\sin e} = \frac{NO'}{\sin r}$$

Die gleichen Zeiten entsprechenden Wege MO und NO' verhalten sich aber wie die Geschwindigkeiten g und g' , im ersten und zweiten Medium, daher

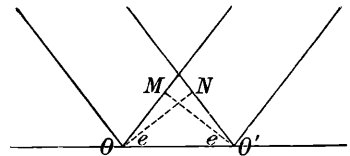
$$\frac{g}{g'} = \frac{\sin e}{\sin r}$$

Da in isotropen Medien die Geschwindigkeit nach allen Richtungen gleich ist, so sind diese, wie ihr Verhältnis $\frac{g}{g'}$ konstant und $\frac{g}{g'} = n$ eine konstante Zahl für dieselbe Temperatur und Wellenlänge.

Infolge der Isotropie bleibt die Lichtbewegung in der Einfallsebene.

Bei der Reflexion pflanzt sich die Bewegung im selben Medium fort, Fig. 381, daher $g = g'$, ferner $e = e'$ und die Einfallsebene mit der Reflexionsebene identisch.

Fig. 381.



93. Totalreflexion. Der Gang der Lichtstrahlen bei der Brechung an der ebenen Trennungsfäche zweier durchsichtiger Medien kann durch folgende geometrische Konstruktion gefunden werden (Fig. 382). Ist OO' die Oberfläche zweier Medien mit den Brechungsquotienten n und N , ist ferner AB die Richtung des einfallenden Strahles, so beschreibt man um B zwei konzentrische Kreise mit den Halbmessern n und N , verlängert den einfallenden Strahl bis zu dem Durch-

Fig. 382.

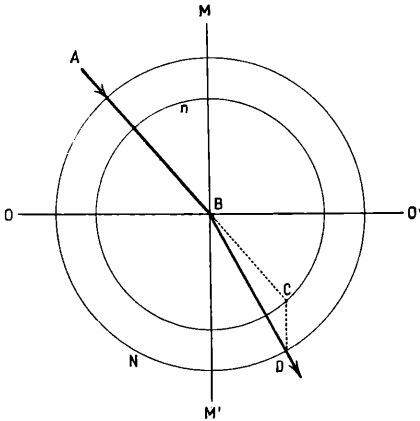
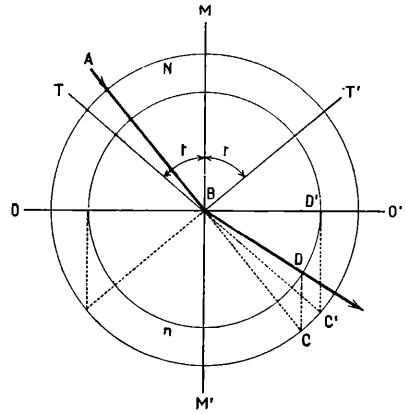


Fig. 383.



schnitt C mit dem zum oberen Medium gehörenden Kreise n und zieht von C eine Parallele zur Normalen der Oberfläche, die im Punkt D den Kreis N trifft; BD ist dann die Richtung des gebrochenen Strahles.

Ist der Brechungsquotient des zweiten Mediums größer, so wird der Strahl zum Lot gebrochen (Fig. 382).

Ist der Brechungsquotient des zweiten Mediums der kleinere (Fig. 383), so erfolgt Brechung vom Lot. Bei allmählicher Vergrößerung des Einfallswinkels $MB A$ rückt der Punkt D immer näher an die Oberfläche O , und ein Strahl $T B$ wird sich in der Grenzschichte $B O'$ fortpflanzen, aber nicht mehr ins zweite Medium eindringen.

Wird der Einfallswinkel noch größer, so wird überhaupt kein gebrochener Strahl entstehen, sondern alle im Raume $T B O$ einfallenden Strahlen werden in den Raum $T' B O'$ reflektiert. Die Reflexion wird unter diesen Verhältnissen mit größerer Intensität stattfinden, da keine Lichtenergie zur Erzeugung des gebrochenen Strahles verbraucht wird. Die Reflexion wird zur totalen Reflexion.

Der Grenzwinkel der Totalreflexion t hängt mit den Brechungsexponenten zusammen. Man findet

$$\sin t = \frac{n}{N}$$

Die totale Reflexion erzeugt die grellen, blitzenden Lichteffekte geschliffener Edelsteine, besonders des Diamants. In optischen Instrumenten spielt sie zuweilen eine Rolle. Für die mikroskopische Beobachtung ist ihre Kenntnis ebenfalls von

Wichtigkeit. Die schwarzen Ringe, welche die Gas- und Dampfbläschen unter dem Mikroskope zeigen [59], sind eine hierhergehörige Erscheinung, außerdem kommen noch manche andere Wirkungen der totalen Reflexion vor, welche leicht mißdeutet werden können. Da feine Sprünge in den Dünnschliffen von Gesteinen und Krystallen in bestimmten Lagen schwarz erscheinen, so werden dieselben von dem Anfänger für undurchsichtige Körper gehalten. Sind die Sprünge krumm, so glaubt man öfter haarförmige Einschlüsse zu sehen, liegen die Sprünge den Gleitflächen parallel, so bemerkt man schwarze Striche, welche wie krystallisierte Einschlüsse aussehen. Ein Beispiel liefern die Druckflächen im Glimmer, wenn derselbe in Dünnschliffen beobachtet wird.

Fig. 384.

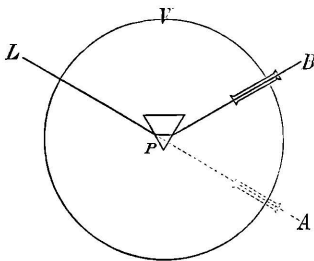


Fig. 385.

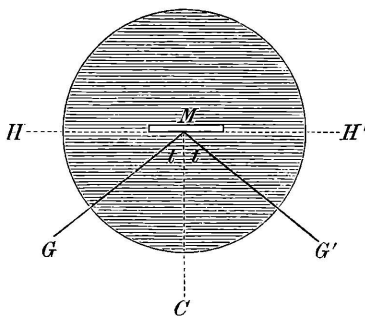
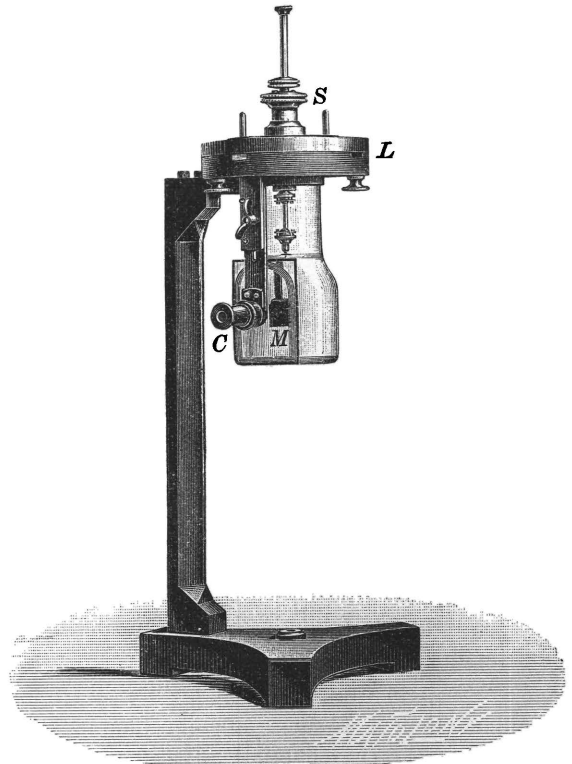


Fig. 386.



94. Die Bestimmung des Brechungsquotienten wird an einem starren Körper in der Weise ausgeführt, daß der letztere in die Form eines Prismas gebracht, dieses mit der scharfen Kante gegen einen Limbus senkrecht gestellt und nun die Minimalablenkung beobachtet wird, welche das Prisma auf einfallendes Licht ausübt. Man kann dazu eines der beiden Goniometer Fig. 16 und 17 benutzen. Ist V der Limbus oder Teilkreis, Fig. 384, so erscheint das senkrecht dazu gestellte Prisma als ein Dreieck P . Hat man nun mit Zuhilfenahme eines Fernrohres die Richtung des einfallenden Lichtes LA bestimmt, so findet man durch Pro-

bieren die Stellung, in welcher das Prisma die geringste Ablenkung hervorbringt. Nun wird mit Hilfe des Fernrohres die Richtung des gebrochenen Strahles PB bestimmt und so der Betrag der Minimalablenkung $a = AB$ gefunden. Kennt man den brechenden Winkel w des Prismas, so ergibt sich der Brechungs-exponent aus:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(a + w)}{\sin \frac{1}{2}w}$$

Hat man den Brechungsquotienten einer Flüssigkeit zu bestimmen, so wendet man ein hohles Glasprisma mit planparallelen Wänden an, in welches die zu untersuchende Flüssigkeit gegossen wird, und verfährt, wie zuvor angegeben wurde.

Auch durch die Beobachtung der Totalreflexion kann der Brechungsexponent an vielen, selbst an undurchsichtigen Mineralen ermittelt werden.

Verwendet man als Medium von hohem Brechungsverhältnis eine Flüssigkeit, so wird ein eingetauchtes, glattes Mineral, das einen geringeren Brechungsquotienten besitzt, Totalreflexion hervorrufen. Ein rundes Glasgefäß, welches die Fig. 385 von oben gesehen darstellt, wird mit Schwefelkohlenstoff (Brq. 1.6274 bei 20°), Methylenjodid (Brq. 1.7381 bei 20°) oder einer anderen stark brechenden Flüssigkeit gefüllt, ferner die glatte Fläche des Mineralen M in der Mitte des Gefäßes vertikal gestellt. Ringsum kann Licht durch die Wand auf jene Fläche einfallen. Von G und von G' angefangen, also in den Räumen $G M H$ und $G' M H'$ beobachtet man totale Reflexion. Die Hälfte des Winkels $G M G'$ ist demnach $= t$. Kennt man den Brechungsexponenten der benützten Flüssigkeit, z. B. des Schwefelkohlenstoffs s , so berechnet sich der Brechungsexponent des angewandten Minerals n aus:

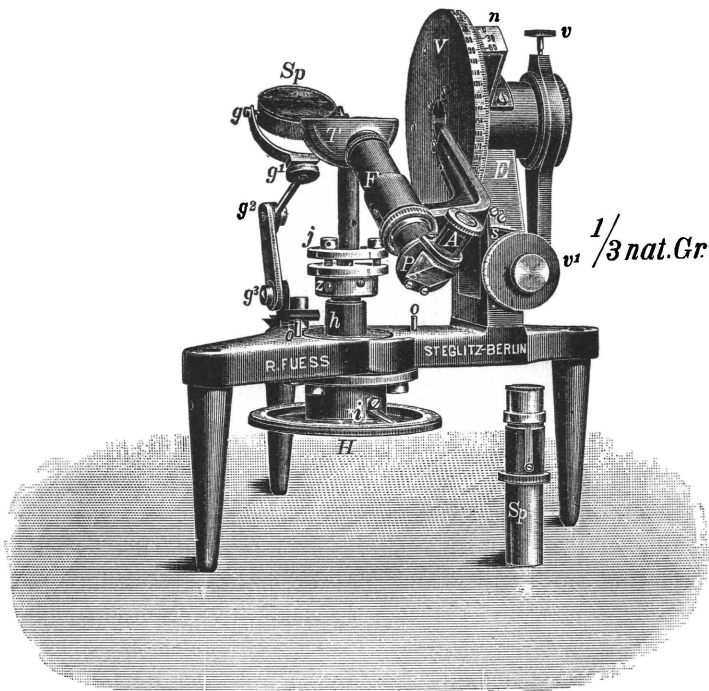
$$n = s \sin t.$$

Anstatt von G und G' aus auf die Fläche M zu visieren, kann man auch in einer fixen Richtung, z. B. CM beobachten, hingegen das Mineral M , welches in einem horizontalen Limbus L hängend befestigt ist, in der einen und der anderen Richtung drehen und die Stellungen bestimmen, bei welchen die Grenze der totalen Reflexion am Vertikalfaden des Fernrohres erscheint. Dem entspricht das Totalreflektometer von Kohlrausch, Fig. 386. Der Beobachter blickt durch das kleine Fernrohr C gegen die ebene Fläche des Mineralen M , welches mittels der Handhabe S gedreht werden kann, bis die Grenze der totalen Reflexion in der Form einer schwachgekrümmten scharfen Schattengrenze in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint. Die Stellung der Fläche an M wird jetzt an dem Vollkreise L abgelesen. Hierauf wird die Drehung in der entgegengesetzten Richtung vorgenommen und auf die zweite Grenze der Totalreflexion eingestellt, also der Winkel $2t$ bestimmt. Daß man das Reflexionsgoniometer zu gleichem Zwecke einrichten kann, wurde von Liebisch bemerkt, und daß der später anzuführende Axenwinkelapparat zu diesen Bestimmungen verwendet werden kann, wurde von Bauer angegeben.

Im Laufe der letzten Jahre wurden von Abbe, Czapski, Liebisch, Pulfrich Instrumente für eine genauere Bestimmung vorgeschlagen und nach diesen Angaben von den Firmen Zeiß und Fueß Totalreflektometer konstruiert, in welchen

das Medium ein Glas von hohem Brechungsquotienten (ca. 1.9) ist. Ein solches Instrument ist in Fig. 387 abgebildet. Der wesentliche Bestandteil ist eine Halbkugel T aus stark lichtbrechendem Glase mit einer horizontalen glatten Fläche, auf welche mittels eines Tröpfchens einer Flüssigkeit, deren Brechungsquotient größer sein muß als der des Minerals (z. B. Cassiaöl, dessen Brq. ungefähr 1.6), die glatte Fläche des Minerals geklebt ist. Das Licht von bestimmter Farbe wird mittels des beweglichen Spiegels Sp durch die Halbkugel gegen die Fläche des Minerals gesendet und dasselbe gelangt nach der totalen Reflexion von dort in das Beobachtungsfernrohr F . Letzteres ist der Bequemlichkeit wegen gebrochen, daher das Licht seinen Weg durch das Prisma P in das Okular A nimmt. Das

Fig. 387.



Beobachtungsfernrohr F ist mit der Axe des Vollkreises V verbunden. Die Verlängerung dieser Axe trifft genau die ebene Fläche an der Halbkugel T . Man erhält nach Einstellung auf die Schattengrenze den Winkel der totalen Reflexion wie bei dem vorher genannten Instrumente. Bei geeigneter Stellung des Spiegels kann man das Licht auch parallel der ebenen Fläche an der Halbkugel einfallen lassen (streifende Inzidenz), man erhält dann in dem Raum $G M G'$ Helligkeit, in den Raum $H M G$ und $H M G'$ gelangt dagegen kein Licht. Der Brechungsquotient berechnet sich nach der Formel $n = G \sin t$, worin G der Brechungsquotient des Glases ist. Bei Anwendung dieser Methode ist die im vorigen Totalreflektometer angewandte Flüssigkeit durch Glas ersetzt. Der Umstand, daß die

Fläche des Mineralen mit einer stark brechenden Flüssigkeit angeklebt wurde, ist nicht von Bedeutung, weil die Schichte derselben planparallel ist.

Der Brechungsquotient läßt sich auch an durchsichtigen Platten nach der Methode des Duc de Chaulnes bestimmen. Man stellt ein Mikroskop möglichst scharf auf einen feinen Punkt ein, legt hierauf die Platte, deren Dicke d man mit dem Sphärometer gemessen hat, auf jenen Punkt, worauf die Mikroskopröhre um die Größe h emporgeschoben werden muß, um den Punkt wieder mit derselben Schärfe zu sehen. Die Verschiebung wird an einer Mikrometerschraube abgelesen und es gilt annäherungsweise:

$$n = \frac{d}{d - h}$$

Diese Methode gibt aber nur annähernd genaue Werte. Öfter wird ihre Umkehrung benützt, um die Dicke eines Schliffes zu bestimmen, wenn n bekannt ist. Stellt man das Mikroskop so ein, daß man erst die Oberseite, dann die Unterseite des Schliffes scharf sieht, so ist der Unterschied beider Ablesungen, die scheinbare Dicke d' , offenbar gleich $d - h$ der vorigen Formel und man findet die wahre Dicke durch Multiplikation der scheinbaren mit dem Brechungsquotienten:

$$d = n d'.$$

An einem Krystall oder einem beliebig geformten Bruchstück, auch an dem groben Pulver eines durchsichtigen Minerals läßt sich der Brechungsquotient nach dem Eintauchen in eine Flüssigkeit von starker Lichtbrechung annähernd bestimmen. Durch allmähliches Verdünnen der Flüssigkeit wird deren Brechungsquotient verringert, bis die Umrisse des Mineralen verschwinden, weil dessen Brechungsquotient und jener der Flüssigkeit nun gleich sind. Letzterer wird hierauf nach der Prismenmethode oder mit dem Totalreflektometer bestimmt. Diese Methode wurde von Schröder van der Kolk ausgebildet.

Für einfache Minerale ist der Brechungsquotient bei einer bestimmten Temperatur eine konstante Zahl. Solche Mineralgattungen, die als isomorphe Mischungen zu betrachten sind, liefern, je nach dem Verhältnis der gemischten Stoffe, verschiedene Brechungsquotienten wie in folgenden Beispielen für gelbes Licht:

Spinell	{	blaubrot 1·7150	Granat	{	hellfarbiger Großular 1·7468
		sattrot 1·7167			roter Almandin 1·7670
		blau 1·7200			roter Großular . 1·7714

Lit. Kohlrausch, Zeitschr. für Kryst., 4. Bd., S. 451 und 621. Liebisch, Jahrb. für Min., 1886, Bd. 2, S. 51. Pulfrich, Das Totalreflektometer, Leipzig, 1890 und Zeitschr. für Instrumentenkunde, Bd. 19, S. 4 (1899). Czapski, Jahrb. für Min., Beilageband 7, S. 175. Zeiß, Katalog 1899, S. 52. Schröder van der Kolk, Tabellen zur mikrosk. Bestimmung der Min. nach ihren Brechungsindizes, 2. Aufl. von Beekman, Wiesbaden, 1906. Riva, Zeitschr. für Kryst., Bd. 35, S. 501. Groth, Physikalische Krystallographie, 4. Aufl., S. 962 ff.

95. Farbenzerstreuung. Ein Strahlenbündel weißen Sonnenlichtes, welches durch ein Glasprisma geleitet worden, erscheint nicht nur von seiner früheren Richtung abgelenkt, sondern auch in Farben aufgelöst. Auf einem weißen Schirm aufgefangen, liefert es ein Spektrum, in welchem die roten Strahlen am schwächsten,

die violetten am stärksten abgelenkt erscheinen. Werden die einzelnen Strahlen des Spektrums mit einem ferneren Prisma untersucht, so zeigt sich, daß dieselben verschiedene Brechbarkeit besitzen, indem dem Rot der geringste Brechungsquotient zukommt, worauf Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett folgen, welches letztere den größten Brechungsquotienten hat. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtstrahlen zum Brechungsquotienten verkehrt proportioniert ist, nimmt die Geschwindigkeit von Rot zu Violett ab.

Werden die Strahlen des Spektrums durch eine Linse vereinigt, so entsteht wieder weißes Licht, werden aber Teile des Spektrums vor der Vereinigung weggelassen, so bildet sich ein farbiges Licht. Nach Wegnahme von Rot entsteht Grün, nach Wegnahme von Violett und Blau entsteht Gelb, nach Wegnahme des Grün entsteht Rot. Die weggenommene und die hernach entstandene Farbe würden einander zu Weiß ergänzen, sie sind komplementär.

Wenn man ein ausgedehntes Spektrum des Sonnenlichtes betrachtet, so bemerkt man eine Anzahl schwarzer Linien (Fraunhofersche Linien) darin. Es fehlen also im Sonnenspektrum einige Lichtarten. Diese Linien, von welchen die stärker hervortretenden mit den Buchstaben *A* bis *I* bezeichnet wurden, dienen zur Fixierung bestimmter Wellenlängen.

Diese Wellenlängen sind in Mikron (Mikron μ gleich ein Tausendstel eines Millimeters):

Fraunhofersche Linie	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Wellenlänge in Luft	0·760	0·687	0·656	0·589	0·527	0·486	0·431	0·397

B und *C* liegen im Rot, *D* im Orangegelb, *E* im Grün, *F* im Blau, *G* im Violblau, *H* im Violett. Wenn später für Brechungsquotienten diese Farben angeführt werden, beziehen sich dieselben auf die genannten Linien. Für genaue Bestimmungen nach der Prismenmethode wird das Goniometer mit einem Spektroskop verbunden und die Ablenkung für einzelne Fraunhofersche Linien ermittelt. Das Spektrum glühender Körper, z. B. des glühenden Platins, ist frei von solchen Linien, es zeigt alle Lichtarten. Das Licht einer nicht leuchtenden Gasflamme (Bunsenbrenner), in welche Kochsalz gebracht wird, gibt ein Spektrum, welches bloß aus einer gelben Doppellinie besteht. Der Dampf des Kochsalzes gibt also einfaches gelbes Licht, er erzeugt monochromatisches Licht. Lithiumsalze geben ziemlich einfaches rotes, Thalliumsalze einfaches grünes Licht. Die Wellenlänge für diese Lichtarten sind in Mikron: Lithiumlicht 0·670, Natriumlicht 0·589, Thalliumlicht 0·535. Auch die auf solche Art gefärbten Flammen werden bei der Bestimmung der Brechungsquotienten benutzt.

96. Absorption. Das weiße Licht wird von vielen Körpern beim Durchgange in der Weise verändert, daß ein oder mehrere Bestandteile desselben verlöscht werden, während der Rest als farbiges Licht hindurchgeht. Die verschiedenen Medien vermögen also bestimmte Lichtarten zu verschlucken oder zu absorbieren, während sie andere durchlassen. Das Sonnenlicht, welches durch Kobaltglas gegangen ist, zeigt bei der Untersuchung mit dem Prisma ein Spektrum, in welchem alle Farben außer Rot und Blau geschwächt erscheinen. Bei größerer Dicke des

Kobaltglases bleiben nur Rot und Blau übrig. Das rote Glas, welches durch Kupferoxydul gefärbt ist, liefert ein Spektrum, in welchem alle Farben außer Rot fehlen. Das durchfallende Licht ist fast monochromatisch. Platten, welche aus manchem Granat oder Zirkon geschnitten sind, liefern bei demselben Versuche ein Spektrum, welches viele Unterbrechungen in der Form dunkler Bänder zeigt. Es ist also beim Durchgange durch diese Platten eine Anzahl verschiedener Lichtarten vollständig absorbiert worden. Die Mehrzahl der farbigen Minerale gibt bei dieser Behandlung Spektren, in welchen die verschiedenen Teile sehr ungleichartig geschwächt oder ausgelöscht erscheinen. In allen diesen Fällen bleiben verschiedene Lichtarten übrig, welche nach dem Austreten eine Mischfarbe erzeugen.

Lit. Theoretisches: W. Voigt, Wiedem. Annalen, Bd. 23, S. 577. S. ferner: Pleochroismus.

97. Farben. Da bei der Beobachtung im auffallenden Lichte, wofern der Glanz nicht stört, Strahlen wahrgenommen werden, welche in das Mineral eingedrungen und daraus wieder zurückgekehrt sind, so werden sich dabei im allgemeinen dieselben Farben zeigen wie im durchgehenden Lichte. Dieselben lassen sich aber, weil sie meistens Mischfarben sind, nicht nach den Spektralfarben klassifizieren. Bei ziemlich gleichförmiger Absorption aller Lichtarten wird Grau, schließlich Schwarz entstehen, welche also hier nebst Weiß auch zu den Farben gezählt werden.

Die eigentlichen Farben zeigen drei verschiedene Hauptcharaktere, je nachdem sie an opaken Körpern auftreten, also metallische Farben sind, oder an trübe Medien gebunden sind, oder an durchsichtigen Medien vorkommen (Deckfarben und Lasurfarben der Maler). So ist Goldgelb eine metallische Farbe, während Ockergelb für trübe, Weingelb für durchsichtige Körper gilt. Man pflegt aber nur die metallischen Farben schärfer von den übrigen zu trennen.

Von den metallischen Farben unterscheidet man :

Rote: Kupferrot; gelbe: Bronze- gelb, Messinggelb, Goldgelb, Speisgelb; braune: Tombakbraun; weiße: Silberweiß, Zinnweiß; graue: Bleigrau mit den Abarten Reinbleigrau, Weißlich-, Rötlich-, Schwärzlichbleigrau, Stahlgrau; schwarze: Eisenschwarz.

Die nicht metallischen Farben werden nach dem Vorgange von Werner unter die acht Abteilungen: Weiß, Grau, Schwarz, Blau, Grün, Gelb, Rot und Braun gebracht und wird die reinste Farbe als Charakterfarbe hervorgehoben.

Weiß: Schneeweiß, Rötlichweiß, Gelblichweiß, Grünlichweiß, Bläulichweiß, Graulichweiß.

Grau: Aschgrau, Grünlichgrau, Bläulichgrau, Rötlichgrau, Gelblichgrau, Rauchgrau oder Bräunlichgrau, Schwärzlichgrau.

Schwarz: Graulichschwarz, Samtschwarz, Bräunlichschwarz oder Pechschwarz, Rötlichschwarz, Grünlichschwarz oder Rabenschwarz, Bläulichschwarz.

Blau: Schwärzlichblau, Lasurblau, Violblau, Lavendelblau, Pflaumenblau, Berlinerblau, Smalteblau, Indigoblau, Himmelblau, Entenblau.

Grün: Spangrün, Seladongrün, Berggrün, Lauchgrün, Smaragdgrün, Apfelgrün, Pistaziengrün, Schwärzlichgrün, Olivengrün, Grasgrün, Spargelgrün, Ölgrün, Zeisiggrün.

Gelb: Schwefelgelb, Strohgelb, Wachsgelb, Honiggelb, Zitronengelb, Ockergelb, Weingelb, Isabellgelb, Erbsengelb, Pomeranzengelb

Rot: Morgenrot, Hyazinthrot, Ziegelrot, Scharlachrot, Blutrot, Fleischrot, Karminrot, Cochenillerot, Rosenrot, Karmoisinrot, Pfirsichblütrot, Kolombinrot, Kirschrot, Bräunlichrot.

Braun: Rötlichbraun, Nelkenbraun, Haarbraun, Kastanienbraun, Gelblichbraun, Holzbraun, Leberbraun, Schwärzlichbraun.

Die Abstufung oder Sättigung der Farbe wird durch die Worte hoch, tief, licht, dunkel, blaß ausgedrückt, welche man der Farbenanzeige beifügt. Um die Farben, welche durch spezifische Bezeichnungen angegeben werden, wie Ölgrün, Isabellgelb, Kolombinrot, kennen zu lernen, ist es nötig, eine Farbenskala, am besten durch ausgewählte Mineralstücke dargestellt, zu studieren. Derjenige, welcher Andeutungen von Farbenblindheit an sich wahrnimmt, wird bei der Bestimmung der Farbe besonders vorsichtig sein müssen und eine Farbenskala sowie das Urteil anderer zu benützen haben.

Über Farben: Haidinger, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 8. Brücke, Physiologie der Farben, Leipzig, 1866.

98. Da die farbigen Medien nicht alle Lichtarten, welche sie absorbieren, in gleicher Weise vernichten, so tritt zuweilen die Erscheinung ein, daß ein Medium in dünneren Schichten eine andere Farbe hat als in dickeren, wie z. B. mancher Granat.

An Krystallen bemerkt man zuweilen zwei oder mehrere Farben an demselben Individuum. Beispiele liefern manche Krystalle von Flußspat, welche entweder Schichten verschiedenartiger Färbung erkennen lassen oder an welchen die Würfecken anders gefärbt sind als der übrige Krystall. Schichtenweise wechselnde Färbung kann von isomorpher Schichtung herrühren [56]. Der ungleiche Ansatz der isomorphen Schichten bedingt bei säulenförmigen Krystallen, welche vorzugsweise nach einer Richtung wachsen, die Bildung heller oder dunkler Köpfe, wie am Beryll, Diopsid vom Zillertal, Turmalin von Elba (Mohrenköpfe). Diese Erscheinung und die Sanduhrform wurden schon vorher beschrieben.

Krystallinische und amorphe Minerale können entweder zufolge ihrer Bildung oder infolge späterer Veränderungen verschiedene Farbenzeichnungen haben, die man als punktiert, gefleckt, wolkig, geflammt, geadert, gestreift, gebändert, wellig, ringförmig, festungsartig, breccienartig u. s. w. bezeichnet.

99. Manche Minerale kommen jederzeit mit derselben bestimmten Farbe vor und sind niemals farblos. Sie werden eigenfarbig oder idiochromatisch genannt. Beispiele sind Gold, Bleiglanz, Kupferlasur. Andere Minerale hingegen finden sich bei sonst gleichen Eigenschaften in verschiedenen Farben und kommen auch farblos vor. Ihre Farbe ist also nichts Eigentümliches, daher solche in Farben auftretende Minerale gefärbt oder allochromatisch genannt werden. Ihre Farbe ist nicht mit der Substanz untrennbar verbunden, sondern rührt von einem beigemischtem Pigment her. Beispiele sind der Flußspat, welcher in vielerlei Farben

vorkommt, der Baryt, der Quarz. Das Pigment ist zuweilen durch das Mikroskop zu erkennen, wie z. B. das Roteisenerz in dem Heulandit, zuweilen aber höchst fein verteilt (dilut), wie im Flußspat.

Ein Übergang zwischen der farbigen und gefärbten Beschaffenheit wird bisweilen durch isomorphe Mischung [56] hervorgebracht, indem farblose und farbige Mineralarten zu einem gleichartig aussehenden Individuum zusammenkrystallisieren, welches eine mittlere Farbe zeigt; so z. B. mischt sich der farblose Spinell mit dem schwarzen, opaken Magneteisenerz und liefert den Pleonast, welcher in dünnen Schichten braun erscheint.

Die Pigmente der allochromatischen Minerale lassen sich, ihrer geringen Menge wegen, nicht mit Sicherheit bestimmen. Manche derselben sind Kohlenstoffverbindungen, in anderen vermutet man Metalle und andere Elemente sowie deren Verbindungen. Viele derselben scheinen amorph zu sein oder ihre Teilchen sind gegen den Krystall unbestimmt orientiert. Einzelne derselben scheinen aber krystallisierbar zu sein und die Teilchen sind im Krystall bestimmt orientiert, entsprechend der bei der Verwachsung ungleichartiger Minerale beobachteten Regelmäßigkeit. So im Amethyst, dessen farbige Stellen sich nach Haidinger wie eine regelmäßige Verwachsung von Quarz (trigonal III) mit einem rhombischen Mineral verhalten.

Das Pigment einiger gefärbten Minerale ist so zart, daß es am Lichte vernichtet wird und die Minerale verblassen. So verliert mancher Topas, Rosenquarz, Chrysopras allmählich die Farbe. Einige der eigenfarbigen Minerale verändern, dem Lichte ausgesetzt, an der Oberfläche ihre Farbe, wie z. B. das Realgar und Rotgiltigerz. Die chemische Veränderung, welche hier stattfindet, greift dann allmählich tiefer. Endlich tritt auch zuweilen der Fall ein, daß farblose oder blaß gefärbte Minerale, zufolge der Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit, von der Oberfläche aus verändert werden und eine dunklere Farbe annehmen, sich verfärben, wie der Eisenspat, Mauganspat und Braunschat. Durch Wärme entfärbter blauer Fluorit, auch blaues Steinsalz, gewinnen nach Bequerels Versuchen die ursprüngliche Färbung wieder, wenn sie längere Zeit den Kathodenstrahlen ausgesetzt werden. Die Einwirkung der von Radiumverbindungen ausgehenden Strahlen vermag gleichfalls Färbungen hervorzurufen, vorhandene zu verändern. Ähnlich wirken auch Lichtstrahlen mit sehr kleiner Wellenlänge jenseits des violetten Endes des sichtbaren Spektrums (ultraviolette Strahlung).

Über dilute Färbung: Litteratur: R. Brauns, Fortschritte der Mineralogie, Bd. 1, S. 129.

100. Strich. Farblose Minerale liefern beim Zerreiben weißes Pulver, gefärbte geben ein weißes oder schmutzigweißes Pulver, weil das neu entstandene Weiß die Farbe des Pigments ganz oder teilweise verdeckt. So liefert blauer Flußspat ebenso wie der farblose ein weißes Pulver. Eigenfarbige Minerale von satter Farbe zeigen auch in Pulverform einen entschiedenen Farbenton, und zwar wird derselbe bei durchsichtigen Mineralen, wegen des beigemischten Weiß, heller sein als die ursprüngliche Farbe des Mineralen, während bei trüben Mineralen die beiden Farben sich wenig oder gar nicht unterscheiden. So gibt der an sich durchsichtige

cochénilerote Zinnober ein scharlachrotes Pulver, der durchsichtige lasurblaue Azurit ein smalteblaues Pulver, während die trübe, apfelgrüne Abänderung des Malachits ein gleichfarbiges Pulver liefert. Die opaken Minerale sind in Pulverform häufig schwarz oder dunkel, weil der Metallglanz fehlt und die Absorption allein wirkt. Der speisgelbe Schwefelkies gibt ein bräunlichschwarzes, der zinnweiße Speiskobalt ein graulichschwarzes Pulver. Durch Verreiben des dunklen Pulvers auf weißer Unterlage kommen die schwachen Farbentöne besser zum Vorschein.

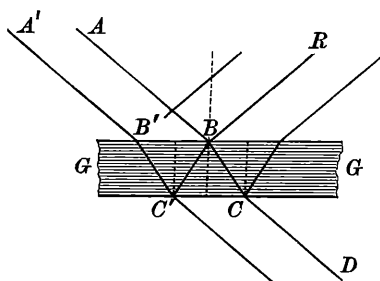
Die Farbe des Pulvers wird von den Mineralogen der Strich genannt, weil man sich durch Streichen des Minerals auf einer weißen rauhen Fläche, z. B. einer Platte von Porzellan-Biskuit, am leichtesten eine kleine Menge des Pulvers auf geeignetem Hintergrunde verschafft. Da die eigenfarbigen Minerale einen Strich von bestimmter Farbe zeigen, welche zu den Eigentümlichkeiten des Minerals gehört, so ist der Strich in diesem Falle ein wichtiges Kennzeichen.

Beim Ritzen mit einer stumpfen Spitze wird man den Strich weniger deutlich erkennen, manche Minerale liefern aber dabei eine glänzende Rinne, und man sagt, sie seien im Striche glänzend.

Schroeder van der Kolk, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 37, S. 652.

101. Interferenz. Glimmerblättchen von außerordentlich geringer Dicke zeigen im auffallenden Lichte prachtvolle Farben, welche denen gleichen, die man an dünnen Seifenblasen sieht. Ebensolche Farben treten häufig an den feinen Spaltungsrissen von Kalkspat, Orthoklas und anderen Mineralen auf. In bunter Folge zeigen sich dieselben an den feinen Sprüngen im Bergkrystall und an anderen wasserhellen Mineralen. Die Erscheinung heißt das Irisieren.

Fig. 388.



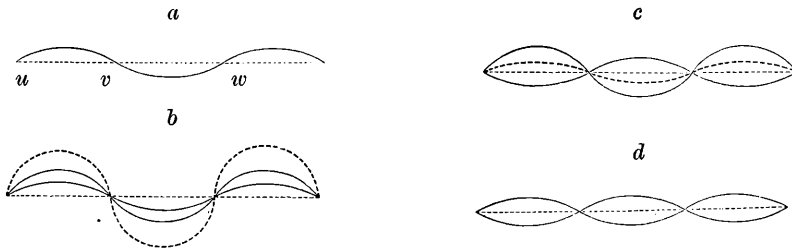
Um sich zuerst über die Entstehung der Farben an dünnen Blättchen Rechenschaft zu geben, betrachtet man den Weg des reflektierten Lichtes. Von den parallelen Strahlen, welche auf das Blättchen GG fallen, Fig. 388, hat einer den Weg ABR zurückgelegt, indem er an der Oberfläche reflektiert wird, während stets ein zweiter, infolge der inneren Reflexion, den Weg $A'B' C' B R$ nimmt, also zuletzt mit dem vorigen gleichen Lauf hat. Die Wegdifferenz $B' C' B$ in dem andersbrechenden Medium, welche dem einen der beiden Strahlen zukommt, ist die Ursache, daß die beiden gleichlaufenden Strahlen aufeinander einwirken (interferieren).

Von dieser Einwirkung erhält man eine anschauliche Vorstellung, wenn man die von Huyghens begründete, von Young und Fresnel ausgebildete Undulationstheorie zu Hilfe nimmt, gemäß welcher das Licht als die schwingende Bewegung eines unwägbar Mediums, des Äthers, aufgefaßt wird. Die Ätherteilchen oder Äthermolekeln schwingen in allen Ebenen senkrecht zu der Richtung des Lichtstrahles, und

ihre Bewegung pflanzt sich wellenförmig in dieser Richtung fort. Die Ätherteilchen, welche sich im Ruhezustande auf der Linie des Strahles nebeneinander befanden, haben in dem Lichtstrahl eine solche Bewegung, daß ihre Verbindungslinie in jedem Augenblicke eine Wellenlinie darstellt. Die Distanz uw , welche für jede Lichtart eine bestimmte Größe hat, Fig. 389 *a*, heißt Wellenlänge. Die Strecke uv ist sonach eine halbe Wellenlänge.

Wenn Lichtstrahlen gleicher Art denselben Lauf haben, so werden sie aufeinander einwirken, indem sich ihre Bewegungen summieren. Haben die Schwingungen beider dieselbe Richtung, wie in Fig. *b*, so entsteht eine verstärkte Bewegung, die Helligkeit des Strahles nimmt zu; haben die Schwingungen entgegengesetzte Richtung, wie in Fig. *c*, so wird eine Schwächung eintreten. In dem Falle, als

Fig. 389.



beide Strahlen von gleicher Intensität sind, jedoch der eine um eine halbe Wellenlänge verspätet erscheint, wie in Fig. *d*, sind die Schwingungen genau entgegengesetzt, sie heben sich daher auf. Durch das Zusammentreffen zweier solcher Strahlen in gleichem Laufe entsteht Dunkelheit. Dasselbe geschieht aber auch, wenn die Verspätung oder der Gangunterschied des einen Strahles drei, fünf, überhaupt eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen beträgt.

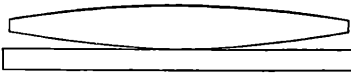
Diese Verspätung kann dadurch eintreten, daß der eine Strahl einen längeren Weg zurücklegt als der andere, aber auch dadurch, daß der eine seine Bewegung in einem widerstehenden Mittel verzögert. In der Regel werden beide Umstände zusammenwirken.

Wenn das Blättchen oder die Luftschichte keilförmig ist, sollte an der Schneide des Keils die Verzögerung Null eintreten, mit dem Fortschreiten gegen dickere Stellen zunehmen, bis an einer bestimmten Stelle die Verzögerung eine halbe Wellenlänge beträgt, in der doppelten Entfernung von der Schneide würde die Verzögerung zwei halbe Wellenlängen betragen, in der dreifachen drei halbe Wellenlängen u. s. f. Man sollte also an den Stellen mit einer Wegdifferenz einer ungeraden Anzahl von halben Wellenlängen immer Auslöschung, an Stellen mit einer geraden Anzahl Helligkeit erwarten. Dies tritt aber nicht ein, sondern es erscheint an den Stellen mit einer Wegdifferenz von einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge Helligkeit, an den Stellen mit einer Wegdifferenz von einer geraden Anzahl von halben Wellenlängen Dunkelheit. Daher erscheint auch die Schneide des Keils selbst, wo keine merkliche Wegdifferenz vorhanden ist, dunkel. Diese unerwartete Erscheinung rührt daher, daß die beiden miteinander interferierenden Strahlen eine ungleiche Art

von Reflexion erfahren haben. Immer ist der eine reflektiert an der Oberfläche eines Mediums mit höherem Brechungsquotienten, der andere an der Oberfläche eines Mediums mit niedrigerem Brechungsquotienten. Bei der Reflexion an einem Medium mit höherem Brechungsquotienten (z. B. wenn der Strahl im Mineral an der Unterseite einer Luftschicht reflektiert wird, oder bei der Reflexion an der Oberseite eines sehr dünnen Glimmerplättchens) wird der Schwingungszustand des reflektierten Strahls so geändert, als ob er eine Verzögerung um eine halbe Wellenlänge erfahren hätte. Zur Verzögerung infolge der Wegdifferenz kommt also überall noch eine Verzögerung von einer halben Wellenlänge hinzu. An Stellen, wo die Wegdifferenz $0, \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \frac{4}{2} \dots$ Wellenlängen beträgt, ist somit die für die Erscheinung maßgebende Phasendifferenz $\frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \frac{4}{2}, \frac{5}{2} \dots$ Wellenlängen.

Hat die dünne Luftschicht eine solche Form, daß ihre Dicke rings um einen Punkt allmählich zunimmt, so entstehen um diesen Punkt Interferenzringe. Man kann diese Interferenzringe, wie Newton gezeigt hat, am leichtesten hervorrufen, wenn man auf eine ebene Glasplatte eine konvexe Glaslinse legt, worauf um den Berührungspunkt eine Luftschicht vorhanden ist, deren Dicke nach außen regelmäßig zunimmt. (Fig. 390.)

Fig. 390.



Beleuchtet man ein solches Newtonsches Farbenglas mit einfarbigem roten Licht von der Wellenlänge 0.63μ , so sieht man um den dunkel erscheinenden Berührungspunkt abwechselnd helle und dunkle Ringe.

Beleuchtet man mit blauem Lichte, dessen Wellenlänge nur ungefähr zwei Drittel der Wellenlänge des roten Lichtes beträgt, so erscheinen die Ringe enger.

Wenn Tageslicht angewendet wird, so erfolgt an den bestimmten Punkten die Auslöschung nur in einer bestimmten Lichtart oder Farbe, die anderen Farben geben eine Mischfarbe, die sich bei zunehmender Dicke der Luftschicht gesetzmäßig ändert.

Das Gesetz läßt sich leicht folgendermaßen ableiten: man denke sich eine von ebenen Flächen begrenzte keilförmige Luftschicht zunächst von rotem Licht beleuchtet. In bestimmten Abständen werden helle und dunkle Streifen aufeinanderfolgen. (Vgl. Fig. 391a oben.) Beleuchtet man mit monochromatischem violetten Licht, so rücken die dunklen Streifen von rechts her enger zusammen. (Fig. 391a unten.) Man denke sich nun von dem Keil einen schmalen spaltförmigen Streifen herausgeschnitten, mit weißem Tageslicht beleuchtet und durch ein Prisma betrachtet. Der schmale Streifen wird in ein Farbenband auseinandergezogen, wobei das rote Ende des Spektrums schwächer abgelenkt wird als das violette und die Fraunhoferschen Linien A—H sichtbar werden. Das Schema Fig. 391b zeigt, wie sich die erste und alle folgenden Auslöschungen vom roten Ende des Spektrums gegen das violette verschieben. Die Kurven am oberen und unteren Ende deuten das An- und Absteigen der Intensität der betreffenden Lichtsorte an. Die Summe der vertikal übereinanderliegenden Intensitäten liefert die Mischfarbe, die der Luftkeil an der betreffenden Stelle zeigt.

Am linken Rande der Figur haben alle Farben sehr geringe Intensität. Dann steigen bei einem Gangunterschied von 0.2μ etwa die blauen und violetten

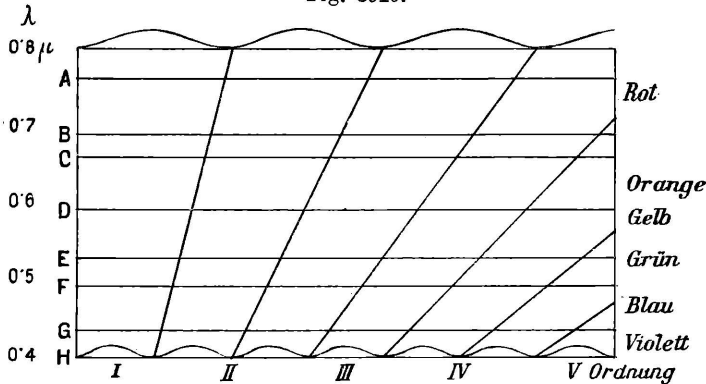
Strahlen zu größerer Intensität als die roten, die noch sehr geringe Intensität zeigen; daher entsteht ein Grau, dem merklich Blau beigemischt ist. Bei einem Gangunterschied von 0.258μ sind alle Strahlen des Spektrums mit ziemlich starker Intensität vertreten; es erscheint dementsprechend ein ziemlich reines Weiß, das

Fig. 391a.



Weiß erster Ordnung. Bei weiter steigendem Gangunterschied nimmt die Intensität von Violett und Blau ab, während erst Gelb (bei 0.322) dann Orange (bei 0.504), dann Rot (bei 0.536) überwiegen. Dann erreichen die lichtstarken grünen und

Fig. 391b.



gelben die erste Verdunkelung (bei 0.55), während die roten noch in abnehmender, die blauen und violetten in wieder zunehmender Intensität vorhanden sind. Hier tritt ein tief dunkles Purpurviolett auf (bei 0.57), welches bei weiter zunehmendem Gangunterschied, indem Rot dem ersten Minimum zustrebt, in Blau umschlägt. In ähnlicher Weise lassen sich auch die folgenden Farben aus dem Schema ableiten. Man erhält nachstehende Farbenfolge:

1. Ordnung (Gangunterschied $0-0.575$): Eisengrau, Bläulichgrau, Weiß, Strohgelb, Braungelb, Orange, Rot, Purpur.

2. Ordnung (G. $0.575-1.128$): Violett, Indigo, Himmelblau, Hellgrün, Gelb, Orange, Rot.

3. Ordnung (G. $1.128-1.682$): Violett, Indigo, Blau, Meergrün, Grün, Grün-gelb, Isabellgelb, Bläßfleischrot.

4. Ordnung (G. $1.682-2.193$): Graublau, Bläulichgrün, Grün, Graugrün, Bläßfleischrot.

5. Ordnung (G. $2.193-2.743$): Schwachgrün, Weiß, Schwachrot.

Die folgenden Ordnungen zeigen Wechsel von Bläßgrün und Bläßrosa mit immer abnehmender Sättigung. Die höheren Ordnungen sind von Weiß nicht mehr

zu unterscheiden. Man erkennt aus dem Schema, daß innerhalb des Spektrums mehrere Farben ausgelöscht sind, andere mit höchster Intensität auftreten, woraus sich ein dem Weiß immer mehr genäherter Lichteindruck ergibt — das Weiß höherer Ordnung.

Im durchfallenden Licht zeigen sich gleichfalls Farben, sie sind komplementär zu den vorigen, doch viel blasser. Sie erklären sich daraus, daß immer ein Strahl den Weg $ABCD$, ein anderer den Weg $A'B'C'BCD$ nimmt (Fig. 338). Die Wegdifferenz ist dieselbe wie bei der Reflexion, doch hat der zweite Strahl durch zweimalige Reflexion an einem Medium mit höherem Brechungsquotienten nunmehr eine Phasendifferenz von zwei halben Wellenlängen erhalten. Hier erscheint also die Schneide des Keils, der Berührungspunkt des Newtonschen Farbenglases, hell, die dunklen und hellen Streifen bei monochromatischer Beleuchtung um die Hälfte ihres Abstandes verschoben.

102. Die Farben dünner Blättchen kommen an den Mineralen in verschiedenen Formen vor. Außer dem Irisieren feiner Sprünge an durchsichtigen Mineralen gehören die Anlauffarben hieher: Diese sind Farben solcher dünner Schichten, die sich an der Oberfläche mancher Minerale gebildet haben. Das Wismut, der Eisenglanz von Elba, mancher Magnetit sind oft mit schönen Farben angelaufen. Das Anlaufen des Stahles gehört auch hieher. In diesen Fällen ist es der Beginn einer chemischen Veränderung, welche die Bildung einer äußerst dünnen Schichte eines neuen Körpers hervorgerufen hat. Von dem Eisenspat, dem Kalkspat, welche zuweilen zart angelaufen sind, weiß man, daß die dünne Schichte aus Brauneisenerz besteht. Krystalle sind zuweilen auf den gleichen Flächen gleich, auf den ungleichen aber verschieden angelaufen, wie manche Bleiglanzkrystalle, welche auf den Oktaederflächen blau, auf den Würfelflächen aber nicht angelaufen sind.

Über Anlauffarben: Hausmann, Jahrb. f. Min., 1848, S. 326. Hiehergehörige Beobachtungen in d. Abhandlung v. Biedermann, Festschrift zum 70. Geburtstage Häckels, Jena, 1904, S. 217.

103. Eine andere Art der Interferenz vollzieht sich beim Durchgange des Lichtes durch feine Spalten. Hier treten Erscheinungen auf, die erkennen lassen, daß sich das Licht auch seitlich von der geraden Fortpflanzungsrichtung, wenn auch in geringem Maße, auszubreiten vermag, ähnlich wie dies bei den Schallwellen, denen eine weit größere Wellenlänge zukommt, beobachtet wird, indem diese auch um die Ecke herum wahrgenommen werden. Diese Abweichung von der Strahlenrichtung wird als Beugung des Lichtes bezeichnet.

Wenn homogenes (einfarbiges) Licht durch einen feinen Spalt in einen dunkeln Raum tritt, so sieht man auf dem entgegengestellten Schirm nicht bloß das Bild des Spaltes, sondern zu beiden Seiten desselben auch noch je ein schwaches Lichtbild mit dunkeln Linien (Interferenzstreifen). Das aus dem Spalt austretende Licht bewegt sich nicht nur in der ursprünglichen Richtung, sondern beiderseits auch in etwas abweichenden Richtungen. Die Wellen des in dieser Weise etwas schief austretenden Lichtes weisen Wegdifferenzen untereinander und gegenüber denen

des gerade fortschreitenden Lichtes auf. Die Wellen interferieren miteinander, wodurch die um eine halbe Wellenlänge verschiedenen Schwingungen aufgehoben werden. Bei Anwendung von weißem Licht entstehen hingegen zu beiden Seiten des mittleren Lichtbildes zarte Farbensäume.

Ein einfaches Gitter, das viele sehr schmale parallele Spalten darstellt (Beugungsgitter), liefert zusammenhängende Farbenspektren. Im auffallenden Lichte geben die Reflexe des Gitters derlei Farben: Gitterfarben.

Als ein hiehergehöriges Phänomen ist die Farbenwandlung zu betrachten, als welche man das Auftreten schöner Farben in kristallographisch bestimmten Richtungen bezeichnet. An manchem Labradorit, manchem Orthoklas erblickt man auf bestimmten Flächen leuchtende Farben, die aus der Tiefe kommen. An manchem Adular (Mondstein), manchem Albit, Apatit, Chrysoberyll sieht man in bestimmten Richtungen einen bläulichen Lichtschein. In diesen Fällen wird das Vorhandensein vieler, äußerst feiner, parallel gestreckter Hohlräume (negativer Krystalle) angenommen, welche als ein Beugungsgitter wirken. Das Auftreten des blauen Lichtscheines wird von Viola als Glaukisieren bezeichnet.

Brewster, Edinburgh phil. Journ., Bd. 38, S. 385. Hessel, Kastners Archiv f. d. ges. Naturlehre, Bd. 10, S. 273. Vogelsang, Archives Néerlandaises, T. 3 (1868). Reusch, Poggend. Ann., Bd. 116, S. 392; Bd. 118, S. 256; Bd. 120, S. 95. Viola, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 34, S. 171.

104. Die Farben trüber Medien wurden früher durch Interferenz, später durch eine eigentümliche, auswählende Reflexion erklärt. Die feinen Partikelchen, welche die zarte Trübung eines durchsichtigen Körpers veranlassen, werfen Licht von kleinerer Wellenlänge (blau) zurück, während sie lange Lichtwellen (rot, gelb) ohne Reflexion durchlassen, ähnlich wie Pfähle, die im Grunde eines Teiches stecken, kleine Wasserwellen zum Teil zurückwerfen, die langen Wellen unverändert vorüberziehen lassen. Derlei Medien erscheinen im auffallenden Lichte bläulich, namentlich deutlich auf dunklem Grunde, im durchfallenden aber gelblich bis bräunlich. Der bläuliche Rauch der Zigarren ist im durchfallenden Lichte bräunlich, die Strahlen der untergehenden Sonne, welche einen langen Weg durch die zartgetrübte Atmosphäre zurückgelegt haben, besitzen eine rote Farbe. Das Blau des Himmels ist die Farbe der zartgetrübten Luft auf dem dunklen Grunde des Weltraumes; bei stärkerer Trübung durch größere Wasserkügelchen verschwindet es. An Mineralen werden die Farben trüber Medien häufig beobachtet. Der bläuliche Opal, Chalzedon, sind im durchfallenden Lichte gelblich oder rötlich, die trüben Krystalle von Feldspat, Nephelin etc. zeigen bei der Untersuchung im Dünnschliffe im durchfallenden Lichte eine bräunliche Farbe. Bei farbigen Mineralen mischen sich die durch Trübung entstandenen blassen Farbentöne mit der eigentlichen Farbe.

Brücke, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 9, S. 530 (1852). Tyndall, Das Licht. Lampa, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 100, Abteil. IIa, S. 730 (1891). Pernter, ebenda, Bd. 73, S. 301 (1901).

Das Farbenspiel des Edelopal, der in allen Richtungen kleine, prächtig leuchtende Farbenflecke darbietet, die beim Wenden ihre Farbe wechseln, ist ein zusammengesetztes Phänomen. Das Mineral ist ein trübes Medium, das infolgedessen

hauptsächlich eine bläuliche Farbe zeigt und Reflexe, die aus dem Inneren kommen, gelb erscheinen läßt. Die schönen Farben gehen aber von feinen, unregelmäßig verteilten Sprüngen aus, welche sehr dünne Luftlamellen darstellen und ein Iriisieren in vielen Richtungen verursachen. Außerdem sind aber die Flächen der Sprünge fein gerieft, so daß wohl auch Gitterfarben anzunehmen sind.

Brewster, *Optics*. Behrens, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.*, Bd. 64 (1871). Quincke, *Annalen d. Physik*, Bd. 13, S. 222 (1904).

105. Polarisation. Das Licht erlangt, wie zuerst Malus beobachtete, durch eine bestimmte Art der Reflexion seitliche Eigenschaften. Der Strahl verhält sich nachher nicht mehr rings um seine Fortpflanzungsrichtung gleich, wie im ursprünglichen Zustande, sondern in einer bestimmten Ebene anders, als in der dazu senkrechten, er ist polarisiert.

Nimmt man eine Platte von farbigem Turmalin, welche parallel zur Hauptaxe des Krystalles geschnitten ist, Fig. 392, und betrachtet durch dieselbe eine weiße Wolke, ein Lampenlicht etc., so zeigt sich keine Änderung, wenn man die Platte um ihre Normale nach links oder nach rechts dreht. Untersucht man jedoch Licht, welches von einer horizontalen Glastafel oder von einer Tischplatte reflektiert wird, so bemerkt man bei der Drehung der vor das Auge geschobenen Turmalinplatte einen auffallenden Wechsel der Helligkeit. Die Glastafel oder die Tischplatte erscheint hell und glänzend, wenn die Hauptaxe des Turmalins horizontal ist, hingegen verdunkelt, wenn die Platte so gedreht wurde, daß die Hauptaxe vertikal zu stehen kommt. Das reflektierte Licht hat also von 90° zu 90° wechselnde Beschaffenheit, es ist polarisiertes Licht.

Fig. 392.

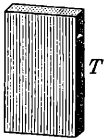
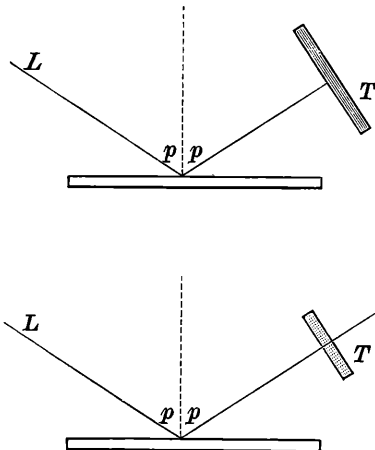


Fig. 393.



Die Einfallsebene, welche bei diesem Versuche vertikal ist, wird Polarisationsebene genannt. Man sagt demnach: wenn die Turmalinplatte so steht, daß ihre Hauptaxe zur Polarisationsebene senkrecht ist, so läßt sie das polarisierte Licht hindurch, wenn aber ihre Hauptaxe zur Polarisationsebene parallel ist, verlöscht sie den polarisierten Strahl, Fig. 393.

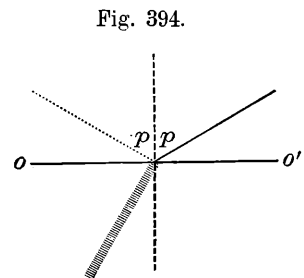
Um die Sache anschaulicher zu machen, darf man sich den Turmalin wie ein Gitter vorstellen, dessen Stäbe zur Hauptaxe parallel sind. Den polarisierten Strahl denkt man sich aus Teilchen bestehend, welche parallel zu der reflektierenden Ebene hin und her schwingen. In dem genannten Experimente ist die Schwingung des polarisierten Strahles horizontal, die Teilchen können also ihre Bewegung durch das Gitter hindurch fortsetzen, wenn dessen Stäbe auch horizontal sind, dagegen nicht, wofern diese vertikal sind.

Wenn man bei einem zweiten Versuche die spiegelnde Glastafel vertikal stellt und das Licht in einer horizontalen Ebene reflektieren läßt, hierauf den reflektierten Strahl untersucht, so findet man Helligkeit, wofern die Hauptaxe des Turmalins vertikal ist, hingegen Verdunkelung, wenn dieselbe horizontal ist. Das Verhältnis zwischen der Polarisationsebene und der Stellung des Turmalins bei der Verdunkelung bleibt immer dasselbe.

Bei mehrfacher Wiederholung solcher Versuche findet man, daß beim Einfallen des Lichtes unter einem bestimmten Winkel das reflektierte Licht vom Turmalin bei geeigneter Stellung nicht bloß verdunkelt, sondern beinahe ausgelöscht wird. Der reflektierte Strahl ist jetzt größtenteils polarisiert. Der zugehörige Einfallswinkel wird Polarisationswinkel genannt. Für gewöhnliches Glas beträgt derselbe 56° , für Wasser 53° , für Fluorit 55° , für Blende 67° . Nach dem von Brewster gefundenen Gesetze berechnet sich dieser Winkel p , wofern der Brechungsquotient des reflektierenden Mediums n bekannt ist, aus der Formel $\tan p = n$, woraus folgt, daß die maximale Polarisation eintritt, sobald der reflektierte und der gebrochene Strahl aufeinander senkrecht sind. Man kann durch Ermittlung des Polarisationswinkels den Brechungsquotienten beiläufig bestimmen.

Wenn man das Licht, welches von metallglänzenden Flächen wiederkehrt, mit dem Turmalin untersucht, so findet man kaum Spuren von der Verdunkelung. Die Körper mit Metallglanz verhalten sich also verschieden von den nicht-metallischen.

106. Das Licht wird nicht nur bei einer bestimmten Reflexion polarisiert, sondern auch bei einer bestimmten Art der Brechung. Hat man eine Glastafel gegen das einfallende Licht so gestellt, daß der reflektierte Strahl größtenteils polarisiert ist, so gibt auch das gebrochene, durch das Glas kommende Licht bei der Untersuchung mit dem Turmalin einen Wechsel, und zwar gibt es Helligkeit, wenn die Hauptaxe des Turmalins zur Einfallsebene parallel ist, und Dunkelheit, wenn sie dazu senkrecht ist. Der durch Brechung polarisierte Strahl ist also um 90° anders polarisiert als der reflektierte. Ist die Glastafel horizontal gestellt, so schwingt das reflektierte polarisierte Licht horizontal, also senkrecht zur Einfallsebene, das gebrochene polarisierte Licht aber parallel zur Einfallsebene, Fig. 394. Hier ist die Einfallsebene parallel der Zeichnungsebene. Der einfallende Strahl gewöhnlichen Lichtes ist durch eine ausgezogene Gerade, der reflektierte polarisierte Strahl durch Punkte, der gebrochene polarisierte durch Strichelchen bezeichnet.



Man gewinnt eine Vorstellung von der Teilung des einfallenden Lichtes in zwei polarisierte Strahlen, wenn man sich erinnert, daß in dem Augenblicke, da das Lichtbündel auf das neue Medium schief auffällt, an dasselbe gleichzeitig zwei Anforderungen gestellt sind. Es soll sich einerseits mit der ursprünglichen Geschwindigkeit in demselben Medium fortpflanzen, andererseits soll es mit einer anderen Geschwindigkeit in das zweite Medium eintreten. Man kann sich nun denken, daß jene Schwingungen, die gegen das zweite Medium gerichtet sind, in dieses

letztere eindringen, jene aber, welche zur Oberfläche desselben parallel stattfinden, geeignet sind, sich in dem ersten Medium fortzupflanzen. Demnach findet eine Zerlegung dieser Schwingungen statt und jeder Teil des Lichtes, sowohl der gebrochene als der reflektierte Anteil, enthält Licht mit Schwingungen in einer bestimmten Ebene, also polarisiertes Licht.

Eine einzige Glasplatte gibt bei diesem Versuche noch keine vollständige Auslöschung des durchgehenden Strahles; dieser ist noch nicht vollständig polarisiert, jedoch erhält man durch Wiederholung der Erscheinung, indem das Licht durch eine größere Anzahl parallel gelagerter Glasplatten, durch einen Glassatz, gebrochen wird, das gewünschte Resultat. Ein Paket von Glastafeln ist also ein geeignetes Mittel, polarisiertes Licht zu erhalten.

107. In dem früher beschriebenen Versuche wird vollkommen polarisiertes Licht, welches von einem horizontalen Glassatze kommt, von einem Turmalin, dessen Hauptaxe vertikal ist, ausgelöscht. Sobald man aber den Turmalin in derselben Ebene ein wenig dreht, so daß nun seine Hauptaxe nicht mehr vertikal

Fig. 395.

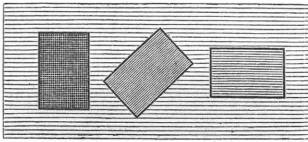


Fig. 397.

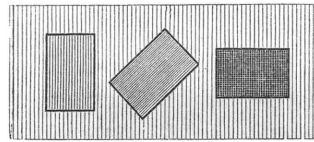


Fig. 396.

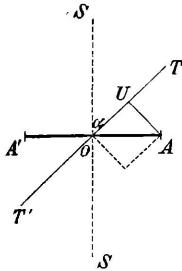
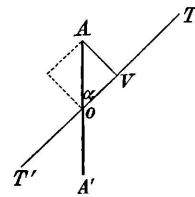


Fig. 398.



ist, so fängt derselbe an, etwas heller zu werden, er läßt also etwas Licht hindurch. Die Helligkeit nimmt mit der Drehung zu, bis endlich bei der Horizontalstellung des Turmalins die größte Helligkeit auftritt, Fig. 395.

Wie es kommt, daß der Turmalin, welcher nur solche Schwingungen durchläßt, die parallel zu seiner Hauptaxe gerichtet sind, doch auch demjenigen Lichte einen beschränkten Durchgang gestattet, welches schief gegen seine Hauptaxe schwingt, wird aus Folgendem erklärlich.

Ist in Fig. 396 TT' die Richtung dieser Hauptaxe und wird angenommen, daß die Schwingungen des polarisierten Lichtes horizontal stattfinden, nämlich zwischen A und A' durch O hindurch, so werden die Schwingungen nicht in dieser Form durch den Turmalin gelangen können, wohl aber nach einer bestimmten Anpassung an diese Stellung der Turmalinplatte. Wie jede Bewegung,

kann auch die Schwingung zwischen O und A in zwei Komponenten zerlegt gedacht werden. Fällt man von A aus eine Senkrechte auf TT' und ist deren Fußpunkt U , so erscheint jetzt OA als Diagonale eines Kräfteparallelogrammes und OU als die eine Komponente, welche den Schwingungen parallel TT' entspricht, die also durchgelassen werden, während AU als die andere Komponente zu betrachten ist, welche den zu TT' senkrechten Schwingungen entspricht und durch Absorption vernichtet wird. Die neue Schwingung OU ist kürzer als die ursprüngliche OA , dementsprechend ist die Helligkeit geringer. Das Verhältnis von OU zu OA ist aber wie $\sin \alpha : 1$.

Das Licht, welches aus dem schiefgestellten Turmalin kommt, schwingt demnach nicht mehr in der früheren Richtung, sondern seine Polarisationssebene ist geändert, das Licht ist unpolarisiert worden. Daraus ist zu ersehen, daß das polarisierte Licht durch Zerlegung in Komponenten seine Schwingungsebene zu ändern vermag, wofern das neue Medium nur bestimmte Schwingungen gestattet.

Benutzt man zu dem Versuche vollständig polarisiertes Licht, welches von einer vertikalen Glasplatte kommt, so wird ein Turmalin, dessen Hauptaxe vertikal ist, Helligkeit zeigen. Dreht man jetzt den Turmalin, so wird seine Helligkeit abnehmen und endlich Dunkelheit eintreten, sobald die Hauptaxe in horizontale Stellung kommt, Fig. 397. Die Erklärung ist ähnlich wie vorhin. Die beiden Komponenten sind jetzt OV , welche den durchgehenden Schwingungen entspricht, und AV , welche jene Schwingungen repräsentiert, die verlöscht werden. OV und OA verhalten sich wie $\cos \alpha : 1$. Fig. 398.

108. Doppelte Lichtbrechung. Während alle amorphen sowie die tesseral kristallisierten Minerale die früher betrachtete einfache Lichtbrechung zeigen, verursachen die übrigen kristallisierten Minerale im allgemeinen eine Spaltung des eintretenden Lichtstrahles in zwei Teile, sie lassen eine doppelte Lichtbrechung erkennen, welche Erscheinung am Kalkspat, dessen Doppelbrechung eine sehr starke ist, zuert von Erasmus Bartholin beobachtet wurde¹⁾.

Ein durchsichtiges Spaltungsstück von Kalkspat (isländischem Doppelspat) auf ein weißes Papier gelegt, worauf ein schwarzer Punkt, läßt diesen doppelt erscheinen. Die durch einen Nadelstich in einem Papierblatt erzeugte helle Öffnung erscheint, durch jenes Spaltungsstück gesehen, als ein doppeltes Lichtbild. Das eintretende Lichtbündel wird also in zwei Anteile zerlegt, Fig. 399. Diese beiden Anteile sind aber vollständig polarisiert, und zwar senkrecht gegeneinander.

Die beiden aus dem Kalkspat austretenden Lichtbündel o und e liegen in einer Symmetrieebene, in einem Hauptschnitte des Rhomboeders. Werden dieselben mittels einer Turmalinplatte geprüft, so wird der Strahl o hell erscheinen, sobald

Fig. 399.

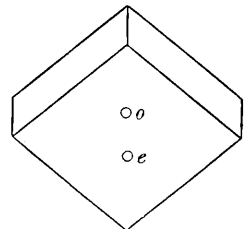
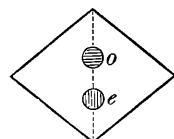


Fig. 400.



¹⁾ Experimenta crystalli islandici disdiaelastici quibus mira et insolita refractio detegitur. Havniae, 1669.

die Hauptaxe des Turmalins gegen den Hauptschnitt des Doppelspates senkrecht ist. Der Strahl e ist jetzt verlöscht. Wird nun der Turmalin gedreht, bis seine Hauptaxe zu jenem Hauptschnitte parallel ist, so erscheint der Strahl e hell, während der Strahl o verlöscht ist. Demnach wird man sagen, der Strahl o schwingt senkrecht zum Hauptschnitte, der Strahl e parallel zu demselben. Siehe Fig. 400, in welcher der Hauptschnitt des Rhomboeders punktiert ist.

Die doppelte Lichtbrechung läßt sich in allen Krystallen, mit Ausnahme der tesseralen, nachweisen, doch erlauben nur wenige die Erkennung derselben in so einfacher Weise wie der Kalkspat, in welchem die beiden Lichtbilder deutlich getrennt werden, weil die Brechungsquotienten der beiden Strahlen o und e stark verschieden sind. Die Krystalle des Natriumsalpers, die man bis zu erheblicher Größe züchten kann, verhalten sich wie der Kalkspat. Auch große, klare Krystalle von Schwefel, von Baryt oder dicke, klare Bergkrystalle lassen die Verdoppelung des Lichtbildes in vielen Richtungen mit freiem Auge wahrnehmen und die Polarisation in zwei zueinander senkrechten Ebenen erkennen. Schleift man aus einem durchsichtigen Krystall Prismen und beobachtet durch dieselben einen Lichtspalt, wie dies bei der Bestimmung der Brechungsquotienten geschieht, so kann man die doppelte Brechung an allen krystallisierten Körpern, außer den tesseralen, durch Verdoppelung des Lichtbildes erkennen, die Polarisation beider nachweisen und die Brechungsquotienten für bestimmte Richtungen ermitteln. Auch im Totalreflektometer wird die Doppelbrechung durch das Auftreten einer zweifachen Schattengrenze beobachtet und bestimmt.

Da mit der Doppelbrechung immer die Polarisation der beiden Lichtbündel verknüpft ist und die Polarisation leichter als die Verdoppelung des Lichtstrahles erkannt wird, so dienen die Polarisationserscheinungen vor allen anderen zum Nachweise der Doppelbrechung und ihrer Beziehung zur Krystallform.

Das Auftreten der Doppelbrechung läßt sich durch die folgende Betrachtung erläutern: In einem amorphen Körper zeigen die Widerstände, welche die Geschwindigkeit des eindringenden Lichtstrahles herabsetzen, in drei aufeinander senkrechten Richtungen keine Verschiedenheit, in einem tesseralen Krystall sind dieselben in je drei zueinander senkrechten Richtungen gleich, in einem anisotropen Krystall aber im allgemeinen verschieden.

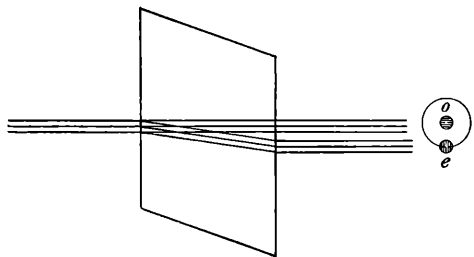
In einem amorphen oder tesseralen (optisch isotropen) Medium bildet das Licht solche Wellen, deren Durchschnitte Kreise sind, das Licht breitet sich in Kugelwellen aus. In einem optisch anisotropen Medium sind die zentralen Durchschnitte im allgemeinen elliptische, das Licht breitet sich hier in ellipsoidischen Wellen aus.

In einem isotropen Krystall begegnen die zum Strahle senkrechten Schwingungen innerhalb der Ebene gleicher Schwingungsart (Wellenfront) nach je zwei zueinander senkrechten Richtungen gleichen Verhältnissen und es wird an den Schwingungen keine wesentliche Änderung eintreten. Im anisotropen Krystall sind die Verhältnisse innerhalb jener Ebene, je nach der Richtung, im allgemeinen verschieden. Im Falle der Ungleichheit kann aber die hieraus folgende Wirkung durch zwei zueinander senkrechte Komponenten dargestellt werden. Die gesamten Schwingungen des eintretenden Strahles lassen sich ebenfalls nach Art der Zerlegung der Kräfte durch zwei voneinander unabhängige Schwingungen ersetzen, die von gleicher Intensität sind und senkrecht zueinander stattfinden. Demnach zerlegt sich der eintretende Strahl in zwei gleiche, zueinander senkrechte polarisierte Anteile. Die Ebenen, welche durch die beiden Schwingungsrichtungen und den Lichtstrahl gelegt werden, liefern aber Schnitte im Krystall, die im allgemeinen Falle von ungleicher Beschaffenheit sind.

Dementsprechend sind auch die ellipsoidischen Wellen in dem einen und dem anderen Anteil von etwas ungleichen Dimensionen und die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung, also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der entsprechenden Strahlen, ist im allgemeinen eine verschiedene. Den beiden polarisierten Anteilen kommen daher im allgemeinen verschiedene Brechungsquotienten zu, woraus folgt, daß der eintretende Strahl sich in zwei gleiche, zueinander senkrecht polarisierte Strahlen teilt. In dieser Weise gilt die Ableitung für homogenes (monochromatisches) Licht.

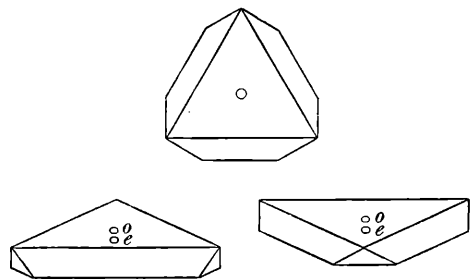
109. Optisch einaxige Krystalle. Ein dünnes Bündel gewöhnlicher paralleler Lichtstrahlen, welches senkrecht auf eine Fläche eines Spaltstückes von Doppelspat auffällt, zerlegt sich in zwei Bündel; das eine geht ohne Ablenkung durch den Doppelspat durch, wie durch ein Stück Glas. Das ist der ordinäre Strahl *o*. Das andere schlägt trotz senkrechten Auffalles im Doppelspat eine abweichende Richtung ein und wird gebrochen; nach dem Austritt aus dem Doppelspalt kehrt es wieder in die ursprüngliche Richtung zurück; dies ist der extraordinäre Strahl *e*. Hinter dem Doppelspat laufen daher in paralleler Richtung zwei Bündel von Lichtstrahlen fort

Fig. 401.



(Fig. 401) und erzeugen auf einem Schirm zwei Bilder. Das ordinäre Bild *o* bleibt an seinem Ort, wenn man den Kalkspat in seiner Ebene um den einfallenden Strahl als Axe dreht. Das extraordinäre Bild *e* wandert um das ordinäre Bild im Kreis herum, so daß es immer in jener Ebene bleibt, die den einfallenden Strahl, die kurze Diagonale der Spaltfläche und die Hauptaxe des Kalkspates enthält und die man den Hauptschnitt nennt. Durch Einschalten einer Turmalinplatte kann man sich überzeugen, daß das extraordinäre Bild aus Schwingungen parallel dem Hauptschnitt, das ordinäre aus Schwingungen senkrecht zum Hauptschnitt besteht.

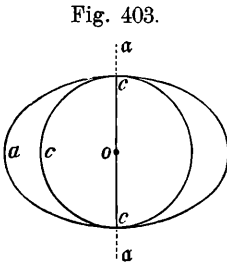
Fig. 402.



Führt man denselben Versuch mit einer Platte parallel der Endfläche (0001) aus, so bleibt das Lichtbündel bei senkrechtem Einfall einfach und erweist sich mit der Turmalinplatte geprüft als gewöhnliches, nicht polarisiertes Licht. Sowie aber das einfallende Bündel von der Richtung der Hauptaxe, senkrecht zur Platte, abweicht, tritt wieder Verdoppelung der Bilder ein; die beiden Lichtbündel liegen im Hauptschnitt und sind senkrecht zueinander polarisiert (Fig. 402).

Diese und ähnliche Beobachtungen veranlaßten Huyghens zu der Annahme, daß bei der Fortpflanzung des Lichtes im Kalkspat zwei Elementarwellen zu stande

kommen; eine kugelförmige, wie in isotropen Medien, die dem ordinären Strahl entspricht und eine von der Gestalt eines abgeplatteten Rotationsellipsoids, die den extraordinären Strahl liefert. Die beiden Flächen berühren sich an den Enden der Hauptaxe (Fig. 403). c ist die kugelförmige ordentliche Welle, a die ellipsoide außerordentliche. Mit a ist die Richtung der Hauptaxe bezeichnet.



Unter dieser Annahme lassen sich alle bisher besprochenen Erscheinungen der Doppelbrechung am Kalkspat mittels der Huyghenschen Konstruktion ableiten [91]. Fig. 404 zeigt die Konstruktion für eine Platte parallel der Endfläche, Fig. 405 für den Fall einer Spaltfläche.

Aus der Konstruktion ersieht man, daß bei ellipsoidischen Elementarwellen die Wellenfront und die zugehörigen Strahlen nicht mehr in allen Fällen aufeinander senkrecht stehen. Demzufolge ist auch die längs des Strahles gemessene Fortpflanzungsgeschwindigkeit im allgemeinen von der der Wellenfront verschieden,

Fig. 404.

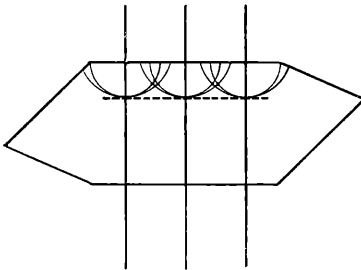
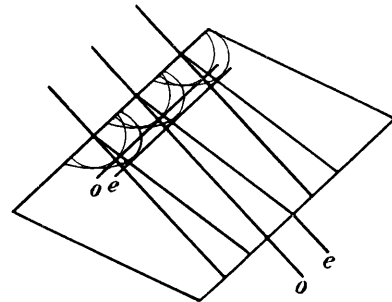


Fig. 405.



und zwar etwas größer. Da bei der Beobachtung von Lichterscheinungen nie ein einzelner Strahl, sondern immer nur ganze Strahlenbündel in Frage kommen, ist nur die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung der Wellennormalen weiterhin von Bedeutung.

Die Normalengeschwindigkeit der außerordentlichen Welle ist nun beim Kalkspat und den sich ähnlich verhaltenden Krystallen je nach der Richtung verschieden und stets größer als die konstante Geschwindigkeit der ordentlichen Welle. Sie schwankt zwischen einem größten Wert in der Richtung senkrecht zur Hauptaxe und einem kleinsten Wert in der Richtung der Hauptaxe, wo sie mit der ordentlichen Welle in eins zusammenfällt.

Da mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Brechungsquotient zusammenhängt [91], so läßt sich auch sagen: Für die ordentliche Welle ist der Brechungsquotient in allen Richtungen gleich. Für die außerordentliche Welle wechselt der Brechungsquotient mit der Richtung zwischen zwei Grenzwerten; er ist am größten in der Richtung der Hauptaxe, wo er mit dem Brechungsexponenten der ordent-

lichen Welle übereinstimmt. In allen anderen Richtungen ist er kleiner und erreicht den kleinsten Wert in der Richtung senkrecht zur Hauptaxe.

Demzufolge weicht bei schiefem Einfall der Strahl e vom Einfallslotte immer mehr ab als o . Diese im Kalkspalt eintretende Art der Doppelbrechung wird als negativ bezeichnet. Fig. 406.

Dieses Verhalten des Kalkspates läßt sich in sehr einfacher Weise geometrisch ableiten, indem man dem Kalkspatkrystall eine Hilfsfläche von der Gestalt eines abgeplatteten Rotationsellipsoides zuschreibt. Die Rotationsaxe desselben falle mit der Hauptaxe des Kalkspates zusammen und ihre Größe sei gleich dem kleinsten

Fig. 406.

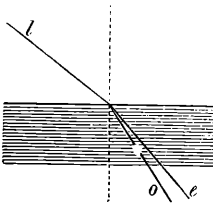


Fig. 407.

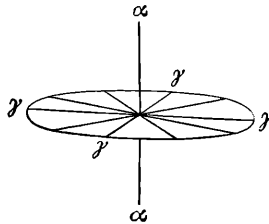
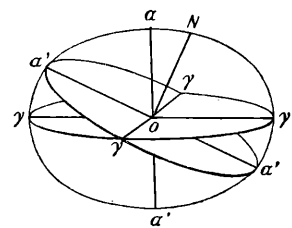


Fig. 408.



Wert α des Brechungsquotienten der außerordentlichen Welle. Der Äquatorialdurchmesser sei gleich dem Wert γ des Brechungsquotienten der ordentlichen Welle. In Fig. 407 ist von diesem Rotationsellipsoid der kreisförmige Durchschnitt und die Rotationsaxe gezeichnet.

Diese Hilfsfläche, Indikatrix genannt, gibt nun Aufschluß über Polarisationszustand, Schwingungsrichtung und Brechungsquotienten der beiden durch Doppelbrechung entstehenden Wellenzüge.

Handelt es sich um die beiden Wellen, die sich in der Richtung ON durch den Kalkspalt fortpflanzen, so hat man die Indikatrix senkrecht zu ON zu durchschneiden (Fig. 408). Der Durchschnitt gibt eine Ellipse mit dem horizontalen längeren Durchmesser γ und einem darauf senkrechten Durchmesser α' , welcher kürzer als γ , aber länger als α ist. Die beiden Durchmesser geben die Schwingungsrichtungen der durch die Doppelbrechung entstehenden Wellen an, γ ist die Schwingungsrichtung der ordentlichen, α' die Schwingungsrichtung der außerordentlichen Welle. Außerdem ist die Länge der beiden Durchmesser gleich den Brechungsquotienten der beiden Wellen, γ dem der ordinären, α' dem der extraordinären Welle.

Fällt ON mit der Rotationsaxe zusammen, so wird die Schnittellipse zum Kreis, es gibt jetzt keine bevorzugten Schwingungsrichtungen, die Doppelbrechung verschwindet, die Lichtwelle besteht aus nicht polarisiertem Licht, welches mit der Geschwindigkeit der ordentlichen Welle entsprechend dem Brechungsquotienten γ fortschreitet.

Wird ON senkrecht zur Hauptaxe, so bleibt der horizontale Durchmesser γ unverändert, der kürzere Durchmesser erreicht hier seinen kleinsten Wert α .

Der Kalkspat liefert ein Beispiel des Verhaltens optisch einaxiger Krystalle. Optisch einaxig sind nun alle Krystalle des trigonalen, tetragonalen und des hexagonalen Systemes. In allen gibt die Hauptaxe die Richtung der optischen Axe an. Im übrigen zeigt sich ein Unterschied bloß darin, daß der Charakter der Doppelbrechung ein negativer (repulsiver) sein kann, wie im Kalkspat, oder ein positiver (attraktiver) wie im Zirkon. In den optisch positiven

Fig. 409.

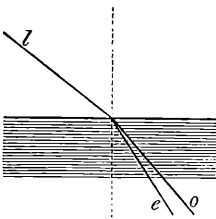


Fig. 410.

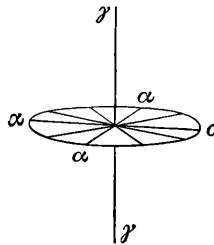
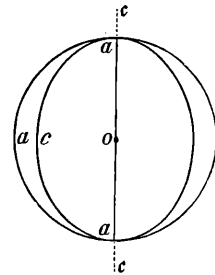


Fig. 411.



Krystallen wird der extraordinäre Strahl stärker gebrochen als der ordinäre. Fig. 409. In diesem Falle kommt dem ordentlichen Strahle der kleinere Brechungsquotient α zu, dem extraordinären der größere γ . Die Indikatrix ist ein gestrecktes Rotationsellipsoid, Fig. 410, die doppelte Elementarwelle besteht aus einer Kugel, welche ein gestrecktes Rotationsellipsoid umhüllt, Fig. 411.

110. Optisch zweiaxige Krystalle. Die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems zeigen ebenfalls doppelte Lichtbrechung, die man bei Aragonit, bei Schwefel direkt durch Verdoppelung des Lichtbildes wie beim Kalkspat beobachten kann. Die Gesetze, welche die Doppelbrechung bei diesen Krystallen regeln, sind erst von Fresnel erkannt worden. Sie lassen sich am leichtesten erfassen, indem man eine Hilfsfläche benützt, aus der sich geometrisch das Verhalten dieser Krystalle gerade so ableiten läßt, wie das Verhalten des Kalkspates aus einem dem Kalkspatkrystall eingeschriebenen Rotationsellipsoid. Diese Hilfsfläche, Indikatrix, hat bei den rhombischen monoklinen und triklinen Krystallen die Gestalt eines dreiaxigen Ellipsoids. Das ist diejenige krumme Oberfläche, welche sich in der Reihe: Kugel, Rotationsellipsoid, zunächst an dieses anschließt.

Das dreiaxige Ellipsoid ist ausgezeichnet durch drei aufeinander senkrecht stehende Axen von ungleicher Länge. Ihre Größe entspricht den Brechungsquotienten jener Lichtwellen, welche ihre Schwingungen parallel diesen Hauptschwingungsrichtungen ausführen. Wir bezeichnen sie nach abnehmender Größe mit γ , β , α . Beim Aragonit haben sie die Größe

$$\alpha = 1.5301 \quad \beta = 1.6816 \quad \gamma = 1.6859$$

für das gelbe Licht der Natriumflamme (vergl. Fig. 412, 413).

Die drei durch je zwei Hauptrichtungen gelegten Ebenen werden als optische Hauptschnitte bezeichnet. Sie stehen aufeinander senkrecht und sind die einzigen Symmetrieebenen des dreiaxigen Ellipsoides.

Die geometrische Untersuchung des dreiaxigen Ellipsoides lehrt, daß jeder zentrale Durchschnitt die Gestalt einer Ellipse hat, mit zwei zueinander senkrechten Durchmessern; der größere γ' kann alle möglichen Werte zwischen γ und β , der kleinere α' alle möglichen Werte zwischen β und α annehmen.

Von allen Schnittellipsen sind besonders jene wichtig, die durch Schnitte parallel der mittleren Hauptrichtung β zu stande kommen. Da alle diese Schnitte senkrecht zum Hauptschnitt $\gamma\alpha$ liegen, muß der eine Durchmesser immer gleich β sein. Der andere Durchmesser liegt im Hauptschnitt $\gamma\alpha$. Für einen Schnitt senkrecht zu α ist der zweite Durchmesser gleich γ . Für Schnitte, die diesem Schnitt naheliegen, wird er kleiner und kleiner werden, bei weiterer Drehung endlich gleich α für jenen Durchschnitt, der dem Hauptschnitt $\beta\alpha$ parallel geht. Für irgend

Fig. 412.

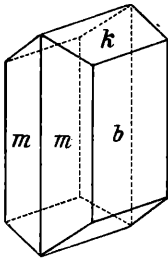


Fig. 413.

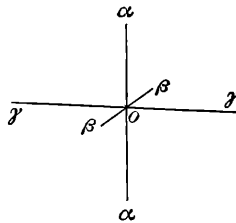
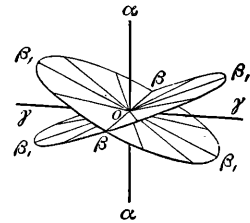


Fig. 414.



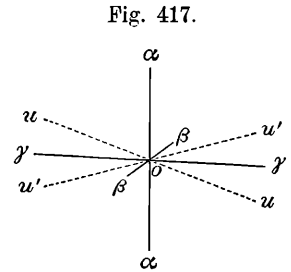
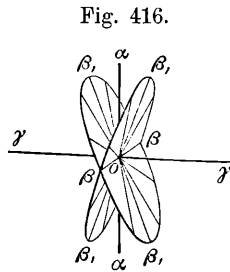
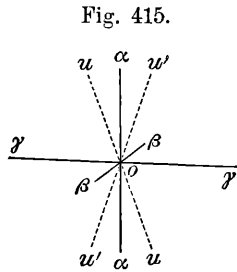
einen dieser Durchschnitte muß der im Hauptschnitt liegende Durchmesser den Wert β passieren. Wir erhalten eine Kurve, deren senkrecht zueinander stehende Hauptdurchmesser gleich sind, das heißt, die Ellipse geht in einen Kreis über. Dem dreiaxigen Ellipsoid kommen zwei solche Kreisschnitte zu, die zu den Hauptrichtungen α und γ symmetrisch liegen und durch die mittlere Hauptrichtung β gehen (vergl. Fig. 414).

So wie bei der Indikatrix einaxiger Krystalle bestimmt die Schnittellipse Polarisationszustand, Schwingungsrichtung und Brechungsquotienten jener zwei Wellen, welche sich senkrecht zu ihr durch den Krystall fortpflanzen. Die Durchmesser der Schnittellipse α' und γ' geben die Schwingungsrichtungen der beiden durch Doppelbrechung entstehenden Wellen an, ihre Größe die Brechungsquotienten, deren reziproker Wert die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden Wellen.

In den Richtungen normal zu den Kreisschnitten (u und u' in Fig. 415) fortschreitend, findet eine Lichtwelle senkrecht zu ihrer Fortpflanzungsrichtung ringsum gleiche Verhältnisse; für jede Schwingungsrichtung gilt gleiche Lichtgeschwindigkeit. Es fehlt der Anlaß zur Polarisation und Zerlegung, und eine solche Welle wird als gewöhnliches, nicht polarisiertes Licht durch den Krystall fortgepflanzt. Demzufolge haben die Krystalle der einfacheren Krystallsysteme zwei symmetrisch zu den Hauptrichtungen orientierte Richtungen einfacher Lichtbrechung oder optische Axen; sie sind optisch zweiaxig. Diese optischen Axen sind nicht völlig identisch mit der einen optischen Axe der Krystalle von wirteligem Bau. Dies geht daraus hervor, daß jeder Schnitt durch die eine optische Axe eines einaxigen Krystalles eine optische Symmetrieebene darstellt, dagegen ist von allen

Ebenen, die man durch eine der optischen Axen eines zweiaxigen Krystalles legen kann, nur eine einzige optische Symmetrieebene, nämlich jene, welche durch beide optische Axen u und u' hindurchgeht.

Die optischen Axen u und u' liegen in dem Hauptschnitt $\alpha\gamma$, der Ebene der optischen Axen genannt wird. Die Hauptrichtungen α und γ halbieren den Winkel der optischen Axen. Sie heißen daher auch Mittellinien; und zwar nennt man I. Mittellinie jene, welche den spitzen Winkel der optischen Axen halbiert (beim Aragonit ist α I. Mittellinie). Die Halbierungslinie des stumpfen Winkels der optischen Axen heißt II. Mittellinie (beim Aragonit γ). Zweiaxige Krystalle von der Beschaffenheit wie Aragonit heißen optisch negativ. Sie sind dadurch charakterisiert, daß die Brechungsquotienten γ und β sich wenig voneinander unterscheiden; der größere Durchmesser der Schnittellipse γ' braucht nur wenig abzunehmen, um den Wert β zu erlangen. Die Kreisschnitte liegen nahe



bei der Ebene $\beta\gamma$, der spitze Winkel der optischen Axen wird durch die Mittellinie α halbiert. Wird $\beta = \gamma$, so geht die Indikatrix in das abgeplattete Rotationsellipsoid der optisch einaxigen negativen Krystalle über.

Bei einer Reihe anderer Krystalle liegt der mittlere Brechungsquotient β in der Nähe von α . Die Kreisschnitte liegen nahe bei dem Hauptschnitt $\beta\alpha$, die Mittellinie γ halbiert den spitzen Winkel der optischen Axen. Fig. 416 und 417. Der Schwefel liefert hierfür ein Beispiel:

$$\alpha = 1.958 \quad \beta = 2.038 \quad \gamma = 2.245$$

für das gelbe Licht der Na-Flamme: Solche Krystalle heißen optisch positiv. Läßt man $\beta = \alpha$ werden, so geht die Indikatrix in das gestreckte Rotationsellipsoid über, welches die optisch positiven einaxigen Krystalle charakterisiert.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß der Winkel der optischen Axen mit der Größe der Brechungsquotienten zusammenhängt. Die Rechnung ergibt für den Winkel V zwischen einer der optischen Axen und der Mittellinie γ folgende Formel:

$$\text{tang } V = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\alpha^2}}{\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{\gamma^2}}}$$

In optisch positiven Krystallen ist $V < 45^\circ$, in optisch negativen $V > 45^\circ$.

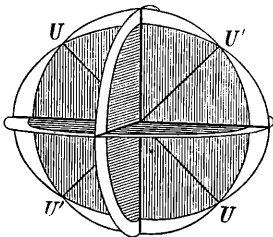
Für die Rechnung bequemer ist die von Bartalini angegebene Formel:

$$\cos V = \frac{\tan \varphi}{\tan \psi}, \text{ worin } \cos \varphi = \frac{\beta}{\gamma} \text{ und } \cos \psi = \frac{\alpha}{\gamma}.$$

Zwischen den optisch negativen und optisch positiven zweiachsigem Krystallen gibt es Übergänge. Steht β ungefähr in der Mitte zwischen α und γ , so nähert sich der Winkel der optischen Axen dem Wert von 90° ; der Charakter der Doppelbrechung könnte dann weder als positiv noch als negativ bezeichnet werden. Da alle bisherigen Betrachtungen bloß für homogenes Licht gelten, so würde dieser Fall nur für eine einzige bestimmte Farbe eintreten.

111. Wellenfläche zweiachziger Krystalle. Aus dem dreiaxigen Ellipsoid läßt sich nun, so wie bei den einaxigen Krystallen aus dem Rotationsellipsoid, die Gestalt der Elementarwelle ableiten, welche entsteht, wenn Licht sich von einem

Fig. 418.



Punkt o im Inneren eines zweiachsigen Krystalles nach allen Seiten ausbreitet. In Fig. 418 sind die den drei Hauptschnitten zukommenden Schnitte dieser Doppelwelle gezeichnet. Der in der Zeichnungsebene liegende Schnitt zeigt eine Durchschneidung eines Kreises und einer Ellipse, während die beiden anderen Kreise und Ellipsen zeigen, die sich nicht durchschneiden. Wenn die hohlen Oktanten zwischen den drei gezeichneten Schnitten so ausgefüllt werden, wie es dem Zusammenhang der Wellen entspricht, so gäbe dies ein körperliches Modell der Doppelwelle. Es läßt eine innere und eine äußere Schale erkennen. Der Raum innerhalb der inneren Schale ist in der Figur schraffiert.

Die angegebenen drei Durchschnitte leiten sich aus der folgenden Betrachtung ab:

1. Ein Strahl, der sich in der aufrechten Richtung bewegt, besteht aus zwei polarisierten Anteilen, wovon einer parallel $\beta\beta$, der andere parallel $\gamma\gamma$ schwingt. Der erstere wird in der Zeit-

Fig. 419.

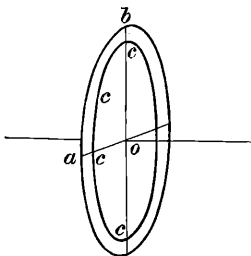


Fig. 420.

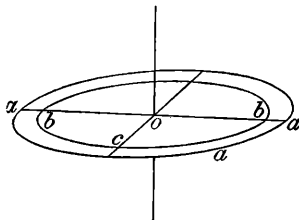
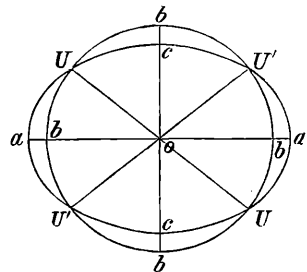


Fig. 421.



einheit von o nach b , der andere von o nach c gelangen. In den Fig. 419 und 421 sind daher in der aufrechten Richtung beiderseits die Längen ob und oc aufgetragen, welche den Geschwindigkeiten $b = \frac{1}{\beta}$ und $c = \frac{1}{\gamma}$ entsprechen.

2. Ein Strahl, der sich in der querliegenden Richtung fortpflanzt, besteht aus zwei polarisierten Teilen mit den Schwingungsrichtungen parallel $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$. Der erste wird in der Zeit-

einheit von o nach a , der zweite von o nach b gelangen. In den Fig. 420 und 421 sind daher in der querliegenden Richtung beiderseits die Längen oa und ob eingetragen, entsprechend den Geschwindigkeiten $a = \frac{1}{\alpha}$ und $b = \frac{1}{\beta}$.

3. Jeder Strahl, der in der Längsrichtung fortschreitet, besteht aus zwei polarisierten Anteilen mit den Schwingungsrichtungen $\alpha\alpha$ und $\gamma\gamma$. Der erstere gelangt in der Zeiteinheit von o nach a , der letztere von o nach c . In den Fig. 419 und 420 sind demgemäß in der Längsrichtung beiderseits die Längen oa und oc verzeichnet, welche den Geschwindigkeiten a und c entsprechen.

4. Nach dem Grundsatz, daß Strahlen, die in den Zwischenrichtungen sich bewegen, aus zwei polarisierten Anteilen bestehen, wovon der eine immer einer Hauptschwingungsrichtung parallel schwingt, während der andere eine Schwingungsrichtung annimmt, die zwischen zwei in derselben Ebene benachbarten Richtungen liegt und dementsprechend eine zwischenliegende Geschwindigkeit besitzt, erhält man die Verbindung zwischen den früher bezeichneten Punkten, in Fig. 419 außen eine Ellipse, innen einen Kreis, in Fig. 421 außen einen Kreis, innen eine Ellipse, in Fig. 421 einen Kreis und eine Ellipse, die einander durchsetzen.

5. Die Vereinigung der drei genannten Schnitte gibt die Zeichnung in Fig. 418.

Innere und äußere Schale der Doppelwelle hängen an den vier mit U und U' bezeichneten Einstülpungen zusammen. Deren Verbindungslinien UU und $U'U'$ werden sekundäre optische Axen genannt.

Denkt man sich eine Ebene, welche das Modell bei einer solchen Einstülpung berührt, so wird die Berührung in einem Kreise erfolgen und auf diesem liegen Schwingungsrichtungen, die alle möglichen Richtungen in der Berührungsebene enthalten. Daraus leiten sich zwei Erscheinungen ab: 1. ein Lichtbündel, das eine Platte, die parallel zu jener Ebene geschnitten ist, durchsetzt, verläßt die Platte in der Form eines Lichtkegels: Konische Refraktion (Hamilton und Lloyd). 2. Eine solche Platte gibt im Orthoskope Aufhellung und keine deutliche Auslöschung [115]. (Kalkowsky, in d. Zeitschr. f. Kryst., Bd. 9, S. 486.)

Eine solche tangierende Ebene gibt die Wellenfront jener Strahlen an, die in der Ebene $\alpha\gamma$ mit der Geschwindigkeit $b = \frac{1}{\beta}$ fortschreiten. Die Senkrechte zu einem Paar solcher Ebenen liefert die Richtung einer wahren optischen Axe. Legt man in Fig. 421 ein Linienpaar, das bei den Punkten U Kreis und Ellipse gleichzeitig berührt, und zieht dazu die Senkrechte durch o , so erhält man die Richtung der einen optischen Axe und entsprechend für U' die zweite. Diese beiden Richtungen sind die wahren optischen Axen [110].

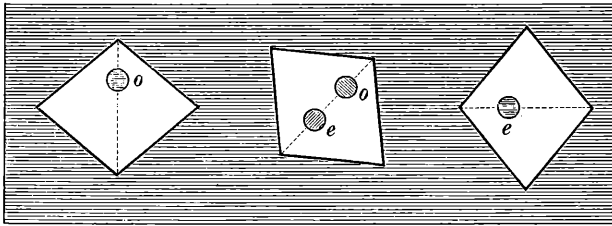
112. Verhalten im polarisierten Lichte. Polarisiertes Licht zeigt beim Durchgange durch einen Doppelspat zum Teile andere Erscheinungen als gewöhnliches Licht. Läßt man vollständig polarisiertes Licht, welches von einem horizontalen Glassatze kommt, durch die Öffnung eines Papierblattes gehen und bringt zwischen dieses und das Auge ein Spaltungsstück von Doppelspat, und zwar so, daß der Hauptschnitt vertikal steht, so sieht man bloß einen einzigen Strahl, es ist der ordentliche, Fig. 422.

Das in den Doppelspat eintretende Licht schwingt horizontal, kann sich also hier nur als ordentlicher Strahl fortpflanzen; die zweite Art der Schwingung, nämlich die vertikale, existiert nicht. Das polarisierte Licht wird demnach hier einfach gebrochen. Dreht man jetzt den Doppelspat um einen Winkel α , so taucht auch der außerordentliche Strahl auf und nimmt bei fernerer Drehung an Helligkeit zu, während sich der ordentliche verdunkelt. Nach der Drehung um 45° haben beide gleiche Helligkeit. Bei fortgesetzter Drehung nimmt der außer-

ordentliche beständig an Helligkeit zu, bei 90° ist er allein sichtbar, der ordentliche ist verschwunden.

Das polarisierte Licht, welches in den in schiefer Stellung befindlichen Doppelspat gelangt, wird hier geteilt, wird hier doppelt gebrochen. Der Doppelspat, welcher bloß Schwingungen parallel und senkrecht zum Hauptschnitte durchläßt, kann die schief gerichtete Schwingung nur so fortpflanzen, daß er dieselbe in zwei Komponenten zerlegt, welche jene beiden Schwingungsarten besitzen. Geht

Fig. 422.



man auf Fig. 396 zurück, so erkennt man, daß der ordentliche Strahl nach der Drehung des Doppelspates um den Winkel α die Komponente AU , der außerordentliche Strahl die Komponente OU zugeteilt erhält, welche beiden sich wie $\cos \alpha : \sin \alpha$ verhalten. Für $\alpha = 45^\circ$ sind also beide gleich, für $\alpha = 90^\circ$ verschwindet die erstere Komponente. Ist also der Hauptschnitt horizontal, so geht das polarisierte Licht, dessen Schwingung horizontal ist, bloß als außerordentlicher Strahl hindurch, die Brechung ist jetzt wieder eine einfache.

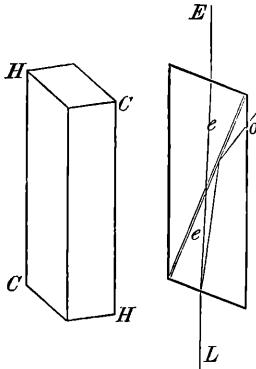
Bei vertikaler und horizontaler Stellung des Hauptschnittes herrscht also einfache, in allen Zwischenstellungen doppelte Brechung. Das entsprechende Resultat ergibt sich, wenn man polarisiertes Licht anwendet, das von einer vertikalen Glasplatte kommt.

Liegen also die Schwingungsrichtungen der Mineralplatte schief zu jenen des einfallenden polarisierten Lichtes, so ergibt sich doppelte, sonst aber einfache Brechung. Diese Regel befolgen alle doppeltbrechenden Körper.

113. Nicolsches Prisma. Wenn das Instrument, welches zur ersten Erkennung des polarisierten Lichtes dienlich war, nämlich die gefärbte Turmalinplatte, für sich betrachtet wird, so erscheint dieselbe als ein Medium, welches bloß Schwingungen parallel der Hauptaxe hindurchläßt, also einen außerordentlichen Strahl gibt. Der Turmalin ist demnach ein doppeltbrechender Körper, welcher den ordentlichen Strahl vernichtet und bloß den außerordentlichen durchläßt. Dieser ist aber polarisiert. Die Turmalinplatte bietet also ein einfaches Mittel, polarisiertes Licht zu erhalten. Bei den Versuchen, welche Farbenercheinungen veranlassen, würde es aber als eine unangenehme Beigabe des polarisierten Lichtes erscheinen, daß dasselbe schon selbst gefärbt ist. Man kann aber leicht ungefärbtes polarisiertes Licht erhalten, wenn man einen der beiden Lichtstrahlen, welche der farblose Doppelspat liefert, für sich auffängt.

Das Instrument, welches dies gestattet, ist das Nicolsche Prisma. Dasselbe ist aus einem länglichen Spaltungsstück von Doppelspat so angefertigt, daß anstatt des Flächenpaares CH , Fig. 423, welches die kleinsten Flächen bildet, in der Zone $10\bar{1}1 : 0001$ ein neues Flächenpaar angeschliffen wird, welches gegen die

Fig. 423. Fig. 424.



Hauptaxe um 3° weniger steil geneigt ist, und daß hierauf das Spaltungsstück nach einer in derselben Zone liegenden, zu dem neuen Flächenpaare senkrechten Ebene durchgeschnitten wird. Die beiden so erhaltenen Stücke werden mittels Kanadabalsams wieder zusammengekittet. Dieser Einrichtung zufolge wird ein Lichtstrahl L , welcher in das Prisma, Fig. 424, eintritt, in zwei Strahlen zerlegt, wovon der eine, der ordinäre o , unter dem Winkel der totalen Reflexion auf die Balsamschicht trifft und von da zur Seite reflektiert wird, wo ihn die geschwärzten Flächen absorbieren, während der außerordentliche Strahl e in der Richtung LE durch das Prisma geht.

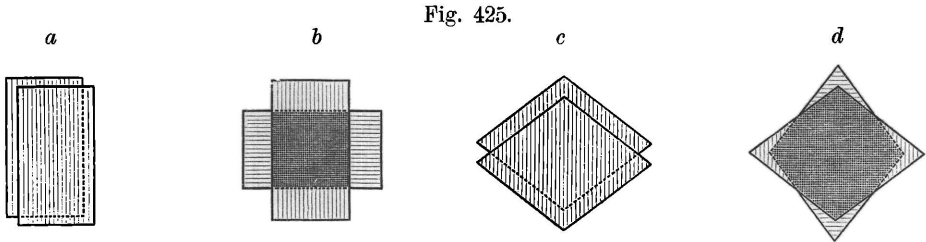
Das Nicolsche Prisma liefert also, gerade wie der Turmalin, bloß den außerordentlichen Strahl, es liefert polarisiertes Licht, dessen Schwingungen parallel der kürzeren Diagonale des Prismas stattfinden. Diese ist aber einem Hauptschnitt des dazu benutzten Calcitindividuums $CHCH$ parallel. Wenn daher vom Nicolhauptschnitt gesprochen wird, so ist immer jene durch die kürzere Diagonale und längs des Nicols gelegte Ebene zu verstehen. Gegenwärtig benützt man häufig auch andere polarisierende Prismen, welche zwei horizontale Endflächen besitzen.

Literatur: Über die Anwendung des polarisierten Lichtes bei der Untersuchung der Krystalle sowie über die Krystalloptik überhaupt kann man sich des Genaueren in folgenden Werken unterrichten: Brewster, Treatise on optics, London, 1832, deutsch von Hartmann, Quedlinburg, 1835. Beer, Einleitung in die höhere Optik, 2. Aufl., bearb. von V. v. Lang, Braunschweig, 1882. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien, Berlin, 1853. Grailich, Krystallographisch-optische Untersuchungen, Wien, 1858. Descloizeaux, Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant etc., Paris, 1864. Rosenbusch u. Wülfing, Mikroskopische Physiographie der petrograph. wichtigen Mineralien, Stuttgart, 1904. Groth, Physikalische Krystallographie, Leipzig, 1905. Mallard, Traité de Cristallographie, Paris, 1874, Bd. 2. Fletcher, Die optische Indikatrix. Übersetzt von Ambronn und König, Leipzig, 1893. A. Becker, Krystalloptik, Stuttgart 1903. F. Poockels, Lehrbuch der Krystalloptik, Leipzig u. Berlin 1906.

Über Apparate und Beobachtungsmethoden außerdem: V. v. Lang, Sitzungsberichte d. W. Akad., Bd. 55 (1867). Carl, Repertorium f. physikal. Technik, Bd. 3, S. 201. Groth, Pogg. Ann., Bd. 154, S. 34 (1871). Über Nicolsche Prismen: Feußner, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. 4, S. 42. Über ein Mikroskop mit Refraktometer, Axenwinkelapparat etc. Bertrand, Comptes rend., Bd. 99, S. 538. Universaltschehen: Fedorow, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 22, S. 229. Universal-drehapparat: Klein, Sitzungsber. d. Berliner Akad. 1893, S. 91. Diverse Instrumente: Leiß, Jahrb. f. Min., 10. Beilageband, S. 180 (1895). Ferner viele Abhandlungen in Groths Zeitschr. f. Krystallographie mit den Schlagworten: Instrument, Interferenz, Polarisation.

114. Orthoskop. Für Untersuchungen im polarisierten Lichte können Vorrichtungen mit zwei Turmalinplatten oder mit zwei Nicolschen Prismen dienen. Der erstere Apparat, welcher bloß aus zwei parallelen Turmalinplatten und einer

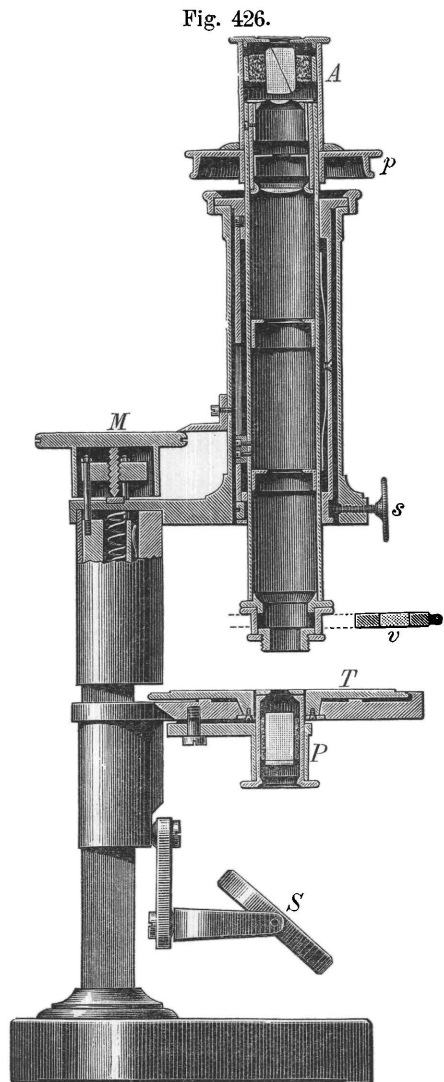
Fassung besteht, wird Turmalinzange genannt. Er eignet sich aus dem früher angegebenen Grunde bloß zu rohen Versuchen und wird daher wenig mehr angewendet. Dagegen werden Instrumente, welche im wesentlichen aus zwei Nicols



zusammengesetzt sind, gegenwärtig in verschiedenen Formen allgemein von den Mineralogen für optische Untersuchungen benutzt.

Stellt man die beiden Platten der Turmalinzange mit den Hauptaxen parallel, Fig. 425 *a*, und blickt durch dieselben gegen eine Lichtquelle, so wird man Helligkeit wahrnehmen, denn der aus der ersten Platte austretende Strahl schwingt parallel zur Hauptaxe und kann diese Schwingungsart auch in der zweiten Platte ungestört fortsetzen. Dreht man jetzt die eine Platte gegen die andere, so wird das Gesichtsfeld, so weit sich die Turmaline bedecken, allmählich dunkler und bei einer Drehung von 90° werden die nunmehr gekreuzten Turmaline Dunkelheit geben, Fig. *b*. Das polarisierte Licht, welches die erste Platte verläßt, hat jetzt eine Schwingung, welche zur Hauptaxe der zweiten Platte senkrecht ist, also absorbiert wird.

Entsprechend verhalten sich parallele, Fig. *c*, und gekreuzte Nicols, Fig. *d*. Die letzteren geben ein dunkles Gesichtsfeld, weil das polarisierte Licht, welches den ersten Nicol verläßt, in den zweiten mit einer solchen Schwingung eintritt, welche dem dortigen ordentlichen Strahl entspricht, wonach es seitlich reflektiert und vernichtet wird. Gekreuzte Turmaline und gekreuzte Nicols verhalten sich wesentlich gleich, es wird also genügen, weiter von den Nicols allein zu sprechen.



Der eine Nicol, welcher das gewöhnliche Licht in polarisiertes verwandelt, heißt Polarisator, der zweite, welcher zur weiteren Prüfung der im polarisierten Lichte auftretenden Erscheinungen dient, Analysator. Um auch kleine Plättchen prüfen zu können, setzt man die Nicols mit einem Mikroskope in Verbindung. Der Polarisator wird unter dem Tisch des Mikroskopes angebracht, der Analysator entweder über dem Okular, in welchem ein feiner Faden durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gespannt ist, wie in Fig. 426, oder nahe dem unteren Ende des Tubus zwischen Okular und Objektiv. In einem solchen Instrumente (Modell Fueß) gelangt das gewöhnliche Tageslicht nach der Reflexion am Spiegel *S* durch den Polarisator *P* in die Mineralplatte, hierauf durch die Mikroskopröhre in den Analysator *A*. Der Tisch *T* des Mikroskopes ist kreisrund, drehbar und am Rande mit einer Kreisteilung versehen. Außerhalb des Tisches neben dieser Teilung befindet sich eine fixe Marke. Die Platte des zu prüfenden Mineral, welche auf die Öffnung des Tisches gelegt worden, dreht sich mit diesem und kann daher in verschiedene Lagen gegen die Schwingungsebenen der Nicols gebracht und es kann erforderlichenfalls der Drehungswinkel abgelesen werden. Um die beiden Nicols in bestimmter Weise gegeneinanderstellen zu können, ist sowohl an dem Polarisator als auch an dem kleinen Limbus *p* des Analysators eine Kreisteilung und außerhalb eine Marke angebracht. Damit das Mikroskop zentriert, d. h. die Axe des am Tubus angeschraubten Objektivs mit der Drehaxe des Tisches in Übereinstimmung gebracht werden könne, ist durch zwei rechtwinkelig gegeneinander gestellte Schrauben, von welchen im Bilde bloß die eine *s* erscheint, eine genaue Stellung des Tubusendes ausführbar. Nach richtiger Zentrierung bleibt bei der Drehung des Tisches auch ein sehr kleines Krystallplättchen in der Mitte des Gesichtsfeldes. Oberhalb des Objektivlinsensystems, das hier nicht gezeichnet ist, können in einen Schlitz des Tubus Hilfsplatten, wie die hier mit *v* bezeichnete, eingeschoben werden. Von der Mikrometerschraube *M*, durch welche die Hebung und Senkung des Tubus genau bestimmt werden kann, ist schon früher, S. 189, die Rede gewesen. Weil in diesem Instrumente im wesentlichen paralleles polarisiertes Licht in senkrechter Richtung durch die zu prüfende Platte geht, wird dasselbe hier als Orthoskop bezeichnet, wonach die Untersuchung im parallelen polarisierten Lichte orthoskopische Prüfung genannt wird. Kennzeichnend ist für sie, daß ein Bild der zu prüfenden Platte selbst beobachtet wird.

115. Erkennung der Doppelbrechung. Die erste wichtige Anwendung des Orthoskopes ist die Unterscheidung der einfachbrechenden und der doppelbrechenden Minerale.

Wird der Apparat auf Dunkel gestellt und wird auf den Tisch des Instrumentes eine Mineralplatte gelegt, so befindet sich dieselbe zwischen gekreuzten Nicols. Gehört die Platte einem einfachbrechenden, also einem tesseralen oder einem amorphen Mineral an, so wird der polarisierte Strahl in der Platte ebensowenig eine Änderung erfahren wie in der Luft, folglich wird das Gesichtsfeld dunkel bleiben, auch die Drehung der Platte wird keine Änderung hervorbringen. Gehört

jedoch die Platte einem doppeltbrechenden Mineral an, so wird dieselbe bei der Drehung mittels des Tisches abwechselnd hell und dunkel erscheinen.

Die Aufhellung der doppeltbrechenden Platte wird immer eintreten, wenn die Schwingungsebenen der beiden Strahlen gegen die Nicolhauptsnitte schief liegen. Dieser Fall ist hier schematisch so dargestellt, daß in Fig. 427 der Polarisator, das doppeltbrechende Mineralblättchen und der Analysator nebeneinander, in Fig. 428 aber in der Durchsicht übereinander folgen. Demnach wird der aus

Fig. 427.

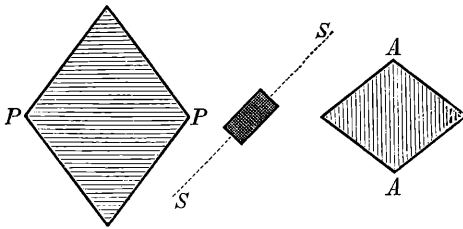
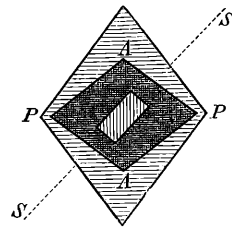


Fig. 428.



dem Polarisator kommende Strahl, welcher parallel PP schwingt, in der Mineralplatte, deren Schwingungsebenen parallel und senkrecht zu SS sind, in zwei Strahlen zerlegt, welche parallel und senkrecht zu SS schwingen. Beide gelangen an den Analysator, welcher diese Schwingungen, welche schief gegen seinen Hauptschnitt AA erfolgen, in dieser Form nicht hindurchläßt, wohl aber jene Komponenten, welche zu AA parallel sind, während er die anderen Komponenten vernichtet. Dadurch wird Helligkeit erzeugt.

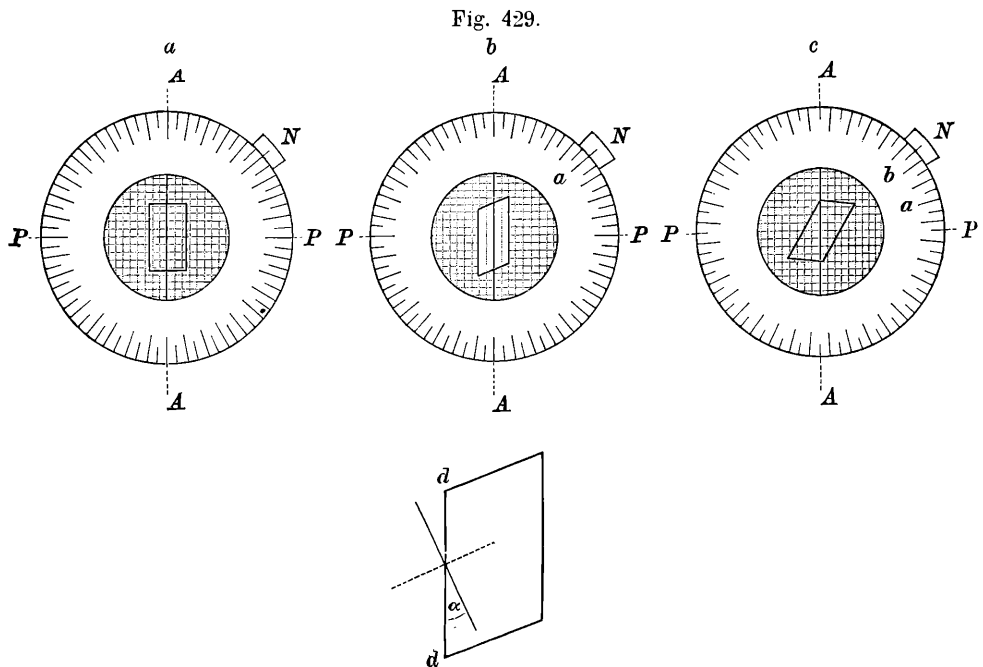
Die Dunkelheit wird bei der Drehung der Platte dann eintreten, wenn die Schwingungsebenen des Minerales zu den beiden Nicolhauptsnitten parallel sind. Das vom Polarisator kommende, parallel PP schwingende Licht findet jetzt die Platte in der Stellung, in welcher sie dieser Schwingung ungestörten Durchgang gestattet, worauf dieselbe an den Analysator gelangt und darin ausgelöscht wird.

Eine Ausnahme von dem angeführten Verhalten machen bloß jene Platten optisch einaxiger Krystalle, welche senkrecht zur optischen Axe geschnitten sind. Sie geben bei der Drehung des Tisches immer Dunkelheit, weil jetzt der durchgehende Strahl keine Doppelbrechung erfährt. Auch eine Platte, die aus einem optisch zweiaxigen Mineral genau senkrecht gegen eine optische Axe geschnitten ist, verhält sich ungewöhnlich. Sie gibt schwache Aufhellung und bei der Drehung des Tisches keine deutliche Auslöschung.

In dem Falle, als die Herstellung einer Platte aus dem zu prüfenden durchsichtigen Mineral untunlich oder allzu umständlich erscheint, kann man zur Prüfung der Doppelbrechung das Mineralstück, wie es ist, in eine Flüssigkeit von gleichem Brechungsquotienten eintauchen, welche in einem durchsichtigen Gefäß enthalten ist. Meistens genügt Jodmethylen (Brechungsquotient 1.74), welches durch Benzol, oder Kaliumquecksilberjodid (Brechungsquotient 1.72), welches durch Wasser verdünnbar ist. Das Gefäß wird in das Orthoskop eingeschaltet, das Mineral wird in der Flüssigkeit beliebig gedreht.

116. Auslöschungsrichtungen. Aus der Dunkelstellung zwischen gekreuzten Nicols kann man die Lage der Schwingungsrichtungen in doppeltbrechenden Platten erkennen, weil in diesem Augenblicke die Schwingungsebenen in der Mineralplatte mit den Nicolhauptsehnitten zusammenfallen. Die Schwingungsrichtungen werden daher auch Auslöschungsrichtungen genannt.

Eine sehr häufig vorkommende Aufgabe ist nun die Bestimmung des Winkels, welchen die Auslöschungsrichtungen auf einer Krystallfläche oder Schnittfläche mit einer sichtbaren Kante oder einem Spaltrisse bilden. Sie wird in folgender Weise ausgeführt: Man nimmt zuerst einen Krystall, von dem man weiß, daß eine seiner langen Kanten eine Auslöschungsrichtung angibt, z. B. ein Säulchen von Baryt oder ein längliches Spaltungsstück von Anhydrit, und legt dieses in die



Mitte des drehbaren Tisches. Nun befindet sich das Objekt, sagen wir der Anhydrit, zwischen gekreuzten Nicols und durch Drehen des Tisches wird der Anhydrit in Dunkelstellung gebracht. Die lange Kante des Anhydrits ist jetzt parallel der Schwingungsrichtung des einen, nehmen wir an des oberen Nicols. Wird dieser ausgeschaltet, das Okular gedreht, bis der in demselben gespannte Faden mit der langen Kante des Anhydrits parallel ist, und nun das Okular festgeklemmt, endlich der obere Nicol wieder in die vorige Stellung gebracht, so ist das Orthoskop für die Messung vorbereitet (justiert), denn der Okularfaden gibt jetzt die Schwingungsrichtung des oberen Nicols an, Fig. 429 *a*. Der Anhydrit wird hierauf entfernt.

Soll nun an irgend einer Krystallplatte oder einem Spaltungsstück der Winkel zwischen einer daran sichtbaren Kante und der Auslöschungsrichtung bestimmt

werden, so bringt man jene Platte in die Mitte des Objektisches und dreht letzteren, bis jene Kante mit dem Okularfaden übereinstimmt, Fig. 429 *b*. Die Stellung des Tisches wird an der Gradeinteilung mittels der fixen Marke *N* bestimmt, nämlich die bei *a* befindliche Zahl abgelesen. Wenn die Auslöschungsrichtung in der zu prüfenden Platte von der Richtung jener Kante abweicht, so wird die Platte jetzt hell erscheinen. Man dreht nun den Tisch so lange, bis die Platte dunkel erscheint, also eine Auslöschungsrichtung derselben mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt, Fig. 429 *c*, worauf man die neue Stellung des Tisches bestimmt, also an der Marke *N* die Zahl *b* abliest. Der Betrag der vollzogenen Drehung ist der Bogen *ab*, welcher dem Winkel α entspricht, den die beobachtete Auslöschungsrichtung mit der früher genannten Kante bildet, Fig. 429 *d*. Senkrecht zu der einen Auslöschungsrichtung liegt stets eine zweite, und die Winkel, welche beide mit der gewählten Kante bilden, ergänzen sich zu 90° . Die beiden Auslöschungsrichtungen sind nicht gleichartig, stets stellt die eine die Schwingungsrichtung α' der rascheren, die andere die Schwingungsrichtung γ' der langsameren Welle dar. Das hier beschriebene Verfahren kann in mannigfacher Weise modifiziert werden, worüber noch später Angaben folgen.

Ist die Kante *dd* einer Krystallaxe parallel, so ist der spitze Winkel α die Auslöschungsschiefe auf der gegebenen Krystallfläche. Bei Bestimmung der Auslöschungsschiefe muß darauf geachtet werden, ob die eingestellte Auslöschungsrichtung einer α' - oder einer γ' -Richtung entspricht (hierüber siehe 119). Zeigt sich keine solche Schiefe, sondern sind die Auslöschungen so wie in dem bekannten Krystall parallel und senkrecht zu einer Axenkante, so ist die Auslöschung eine gerade.

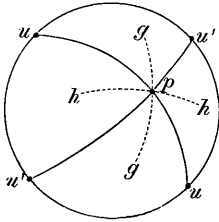
Die Lage der Auslöschungsrichtungen auf Krystallflächen folgt dem Grundsatz, daß die einer Fläche zukommende Symmetrie niemals durch die Auslöschungsrichtungen gestört wird. Demzufolge gibt die Linie, in welcher eine Krystallfläche von dem dazu senkrechten Hauptschnitte getroffen wird, also die Symmetrielinie der Krystallfläche [31], immer eine Auslöschungsrichtung an.

Im hexagonalen und im tetragonalen Systeme zeigen demnach alle Prismenflächen gerade Auslöschung, die Flächen der hexagonalen und tetragonalen Pyramide haben die eine Auslöschung parallel zur horizontalen Kante, die Flächen der Rhomboeder haben die Auslöschungen parallel den Diagonalen. Im rhombischen Systeme bieten die Prismen und Endflächen gerade Auslöschung, ebenso im monoklinen Systeme die Querprismen, die Quer- und Endfläche, während die Längsfläche schiefe Auslöschung zeigt. Im triklinen Systeme gibt es keine Fläche mit gerader Auslöschung.

Wenn es sich darum handelt, die Auslöschungsrichtungen auf einer beliebigen Krystallfläche oder Schnittfläche spezieller anzugeben, so benutzt man folgende Regel: Man legt durch die Flächennormale und die beiden optischen Axen zwei Ebenen und halbiert den Winkel, welchen sie bilden, durch eine dritte Ebene. Diese ist die eine Schwingungsebene. Ist also *p* der Durchschnitt der Flächennormale mit der Kugel, Fig. 430, und sind *u* und *u'* die Durchschnittspunkte der beiden optischen Axen mit derselben Kugelfläche, so schneiden die durch je eine

der beiden letzteren und durch p gelegten Ebenen die Kugel in zwei größten Kreisen upu und $u'pu'$. Wird nun der Winkel upu' halbiert, ebenso der anliegende Winkel, so hat man die beiden Hauptschwingungsebenen gg und hh , welche die beiden Auslöschungsrichtungen auf der Fläche p angeben.

Fig. 430.



Bei den optisch einaxigen Krystallen (Axenwinkel = 0) gibt dieses Verfahren die schon bekannte Regel, daß die eine Auslöschungsrichtung stets in der durch die Hauptaxe und die Flächennormale gehenden Ebene liegt.

Eine Übersicht über die Lage der Auslöschungsrichtungen in doppeltbrechenden Krystallen gewährt eine von Beer vorgeschlagene Konstruktion, bei welcher die Auslöschungsrichtungen durch zwei Systeme von Kurven auf der

Oberfläche einer Kugel dargestellt werden, die sich in jedem Punkt senkrecht durchschneiden. Fig. 431 zeigt die Kugel für den optisch einaxigen Krystall mit der optischen Axe gegen den Beschauer gerichtet. Jeder Punkt der Kugel entspricht der Normalen von zwei Wellen, welche sich infolge der Doppelbrechung mit verschiedener Geschwindigkeit durch den Krystall fortpflanzen können. Die Richtung dieser Wellennormalen ist gegeben durch den Radius, der aus dem Mittelpunkt der Kugel gegen den Punkt gezogen wird. Die Schwingungsrichtung der extraordinären Welle entspricht dann der Tangente an den Meridian oder Großkreis, der durch den betrachteten Punkt und die beiden Axenpole gelegt wird. Die Schwingungsrichtung der ordentlichen Welle entspricht der Tangente an den Parallelkreis, welcher in dem betrachteten Punkt den Meridian senkrecht durchschneidet. Die Figur zeigt nur eine Auswahl dieser Meridian- und Parallelkreise in Abständen von 15° .

Fig. 431.

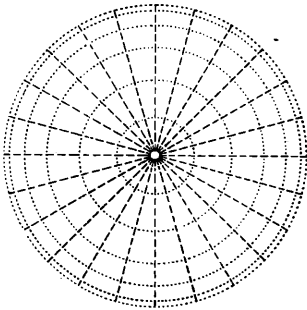
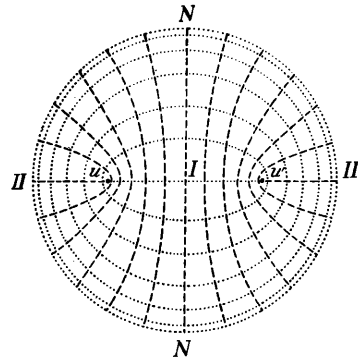


Fig. 432.



Für die optisch zweiaxigen Krystalle ist die Konstruktion in Fig. 432 gegeben; u und u' sind die Punkte, wo die optischen Axen die Oberfläche der Kugel treffen, I ist der Durchstichpunkt der ersten, II die Durchstichpunkte der zweiten Mittellinie, NN ist die optische Normale. Die Parallelkreise der Fig. 431 sind hier in Kugellellipsen übergegangen, d. h. Kurven, welche auf der Kugel-

fläche um die Axenpole uu' nach derselben Regel konstruiert werden, wie die Ellipsen in der Ebene um ihre Brennpunkte. Statt der Meridiankreise hat man hier Kugelellipsen, welche den stumpfen Winkel der optischen Axen umziehen. Diese Meridianellipsen sind in der Figur gestrichelt, die Parallelellipsen punktiert. Beide Systeme von Kugelellipsen durchschneiden sich auf der Oberfläche der Kugel rechtwinklig, und die Tangenten, die in einem bestimmten Punkt an die zugehörige Meridianellipse und Parallelellipse gelegt werden, geben die Schwingungsrichtungen der zwei Wellen an, welche sich längs des zum Punkte gehörigen Radius im Krystall fortbewegen.

Bei optisch positiven Krystallen geben die Meridiane und Meridianellipsen die Schwingungsrichtung der langsameren Welle an, bei optisch negativen die Schwingungsrichtung der rascher fortschreitenden.

Becke, Denkschriften d. Wiener Akademie, Bd. 75, S. 55 (1905); Min. u. petr. Mitt., 24. Bd., S. 1.

In zweiaxigen Krystallen können die Auslöschungsrichtungen für verschiedene Farben etwas verschieden sein. Bei genauen Untersuchungen wird daher in solchen Fällen die Auslöschung für jede Farbe besonders bestimmt.

117. Hauptbrechungsquotienten. Die Bestimmung der Brechungsquotienten, welche den Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, erfolgt nach denselben Methoden, die früher [92] für die Ermittlung der Brechungsquotienten einfachbrechender Minerale angegeben wurden, jedoch mit gleichzeitiger Benützung des Nicolschen Prismas.

Um die beiden Brechungsquotienten α und γ eines optisch einaxigen Mineralen zu bestimmen, verwendet man ein Prisma, dessen brechende Kante der Hauptaxe parallel ist, und man erhält jetzt im Beobachtungsfernrohr nicht eines, sondern zwei Lichtbilder. Prüft man dieselben mit einem Nicol, so wird dasjenige, welches hell bleibt, wenn die Schwingungsrichtung des Nicols der brechenden Kante parallel ist, dem außerordentlichen Strahl entsprechen, das andere Lichtbild, welches jetzt ausgelöscht wurde, dem ordinären Strahl. Nun wird für das eine Lichtbild die Stellung des Prismas in der Minimumablenkung fixiert und der entsprechende Ablenkungswinkel bestimmt, hierauf die gleiche Operation für das zweite Lichtbild ausgeführt.

Bei Anwendung des Totalreflektometers [93] erhält man auf jeder Platte des optisch einaxigen Mineralen zwei Grenzen der Totalreflexion. Die Platte wird so gelagert, daß die Hauptaxe der Einfallsebene der total reflektierten Strahlen parallel ist. Die beiden Schattengrenzen werden mit dem Nicol geprüft. Jene, die erhalten bleibt, wenn die Schwingungsebene des Nicols parallel der Einfallsebene, gehört dem außerordentlichen Strahle an.

Für beiläufige Bestimmungen kann auch die Immersionsmethode von Schroeder van der Kolk dienen [94]. Platten parallel der Endfläche gestatten die Bestimmung des ordentlichen Brechungsquotienten. Platten parallel einer Prismenfläche lassen den ordentlichen und den außerordentlichen Brechungsquotienten bestimmen, wenn man mittels eines Nicols einmal Schwingungen senkrecht, ein zweites Mal parallel zur Hauptaxe eintreten läßt, und jedesmal die Konzentration der Flüssigkeit auf das Verschwinden der Umrisslinie einstellt.

Man pflegt den Hauptbrechungsquotienten des ordinären Strahles mit ω , jenen des extraordinären Strahles mit ε zu bezeichnen. Für optisch positive Krystalle ist demnach $\omega = \alpha$ und $\varepsilon = \gamma$. Für optisch negative ist $\omega = \gamma$ und $\varepsilon = \alpha$. Der Unterschied beider bezeichnet die Stärke der Doppelbrechung.

Als Beispiele von Hauptbrechungsquotienten optisch einaxiger Krystalle mögen folgende dienen:

hexagonal:	ε	ω	Unterschied
Eis (positiv).....	1·3133	1·3090	gelb + 0·0043
Beryll (negativ).....	1·5659	1·5703	„ — 0·0044
Apatit (negativ).....	1·6417	1·6461	„ — 0·0044
tetragonal:			
Mellit (negativ).....	1·5110	1·5393	„ — 0·0283
Rutil (positiv).....	2·9029	2·6158	„ + 0·2871
Kalomel (positiv).....	2·6559	1·9733	„ + 0·6826
trigonal:			
Kalkspat (negativ).....	1·4864	1·6583	„ — 0·1719
„ „	1·4977	1·6832	violett — 0·1855
Natriumsalpeter (negativ)...	1·3361	1·5874	gelb — 0·2513
Quarz (positiv).....	1·5533	1·5442	„ + 0·0091
Zinnober (positiv).....	3·201	2·854	rot + 0·347

Zur Bestimmung der drei Hauptbrechungsquotienten in optisch zweiaxigen Mineralen werden drei Prismen geschnitten, deren brechende Kanten den drei Hauptschwingungsrichtungen parallel sind. Von den zwei Spaltenbildern, welche jedes Prisma liefert, wird immer jenes ausgewählt, welches bei der Prüfung mit dem Nicol die zur brechenden Kante parallelen Schwingungen ergibt. Man kann auch mit zwei Prismen auslangen, welche so geschnitten sind, daß eine der beiden Flächen, welche die brechende Kante bilden, je einem der optischen Hauptschnitte parallel ist. Dann muß aber das Licht senkrecht zu einer solchen Fläche einfallen. Ist n der jedesmalige Brechungsquotient, w der innere Winkel des Prismas, a die Ablenkung, so ist $n = \frac{\sin(a + w)}{\sin w}$. Durch Bestimmung der beiden Ablenkungen an beiden Prismen gewinnt man zusammen vier Zahlen, indem einer der Brechungsquotienten zweimal erhalten wird.

An rhombischen Krystallen hat man fast immer Kanten, die einer oder der anderen Krystallaxe parallel sind und so die Richtung der brechenden Kanten angeben. An monoklinen Krystallen bestimmt man auf der Längsfläche b die beiden Auslöschungsrichtungen und bezeichnet sich dieselben auf dieser Fläche, worauf die beiden für die letztere Art der Bestimmung erforderlichen Kantenrichtungen benutzt werden.

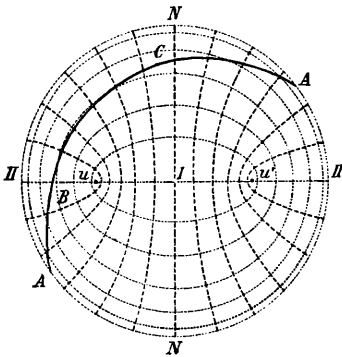
Bei der Anwendung des Totalreflektometers genügt eine einzige Platte, um alle drei Brechungsquotienten zu erhalten. Ist die Platte parallel einem der optischen Hauptschnitte und wird dieselbe so gelagert, daß die Einfallsebene des Lichtes parallel ist dem einen der zur Platte senkrechten optischen Hauptschnitte, so werden durch Beobachtung der Schattengrenzen zwei der Hauptbrechungsquotienten

gewonnen. Nach der Drehung der Platte um 90° gibt die Beobachtung wiederum zwei Zahlen, so daß im ganzen vier erhalten werden, indem einer der Brechungsquotienten zweimal bestimmt erscheint.

Ist die Ebene der Platte parallel der Ebene der optischen Axen, so wird bei der Drehung in bestimmter Stellung die Durchkreuzung der beiden Schattengrenzen wahrgenommen, wenn eine optische Axe in die Einfallsebene zu liegen kommt.

Aber auch eine beliebig orientierte Platte liefert alle drei Hauptbrechungsquotienten. Fig. 433 zeigt den einer solchen Platte entsprechenden Schnitt in das Schema eines negativen zweiaxigen Krystalles eingetragen. Man bemerkt, daß der

Fig. 433.



Schnitt alle drei Hauptschnitte kreuzen muß. Unter den verschiedenen in der Platte enthaltenen Richtungen gibt es also jedenfalls eine *A*, die im Hauptschnitt *NII* liegt, und die senkrecht zu diesem Hauptschnitt schwingende Welle liefert den Brechungsquotienten α ; in gleicher Weise gibt es eine Richtung *B*, welche den mittleren β und eine *C*, welche den größten Brechungsquotienten γ liefert.

Zu diesem Behufe führt man die Beobachtung in verschiedenen Azimuten aus, z. B. jeweils nach Drehung der Platte um 10° oder 15° . In jeder Stellung erhält man eine doppelte Grenze der Totalreflexion entsprechend den beiden

Brechungsquotienten γ' und α' . Der größte Wert, den γ' annimmt, ist nun der Hauptbrechungsquotient γ , der kleinste von α' ist α . Der mittlere Hauptbrechungsquotient β ist entweder gleich dem größten Wert von α' oder dem kleinsten von γ' . Die bestehende Unsicherheit kann durch Berücksichtigung der Schwingungsrichtungen oder durch Berechnung des Winkels der optischen Axe nach [110] und Vergleich mit der Beobachtung behoben werden.

Zu beiläufigen Bestimmungen ist auch hier die Immersionsmethode brauchbar.

Beispiele der Hauptbrechungsquotienten optisch zweiaxiger Minerale sind die folgenden :

	α	β	γ	$\gamma - \alpha$
rhombisch:				
Aragonit (negativ)	1·5301	1·6816	1·6859 gelb	0·1558
Cerussit "	1·7915	2·0595	2·0613 rot	0·2698
" "	1·8164	2·0919	2·0934 grün	0·2770
Topas (positiv)	1·6116	1·6138	1·6211 gelb	0·0095
Baryt "	1·6363	1·6375	1·6480 "	0·0147
monoklin:				
Borax (negativ)	1·4468	1·4686	1·4715 "	0·0247
Gyps (positiv)	1·5207	1·5228	1·5305 "	0 0098
triklin:				
Kupfervitriol (negativ)	1·5156	1·5394	1·5464 "	0·0308
Albit (positiv)	1·5287	1·5331	1·5392 "	0·0105

Viele Minerale kommen in Krystallen vor, die ihrer Substanz nach keine einheitlichen Bildungen, sondern isomorphe Mischungen [56] darstellen. Die Verschiedenheit der Mischung äußert sich häufig durch die Farbe. Für solche Krystalle werden, je nach den Mischungsverhältnissen, verschiedene Hauptbrechungsquotienten gefunden, z. B. für Gelb:

Turmalin, farblos	$\varepsilon = 1.6366$	$\omega = 1.6193$	
„ grün	1.6424	1.6222	
Diopsid, hellgrün.....	$\alpha = 1.6657$	$\beta = 1.6726$	$\gamma = 1.6944$
„ schwarzgrün (Hedenbergit) ..	1.7320	1.7366	1.7506
Plagioklas, farblos (Oligoklas).....	1.5373	1.5415	1.5457
„ „ (Labradorit)	1.5562	1.5582	1.5631

Für die beiläufige Charakterisierung der Lichtbrechung doppeltbrechender Minerale genügt der mittlere Brechungsquotient. Derselbe ist für optisch zweiachsig β oder der nach $\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$ berechnete Wert. Für optisch einachsig die Zahl, welche sich aus $\frac{\varepsilon + 2\omega}{3}$ berechnet. Die Stärke der Doppelbrechung wird in allen Fällen durch die Differenz $\gamma - \alpha$ ausgedrückt.

118. Erscheinungen an dünnen Platten. Bei der Beobachtung im Orthoskope zeigen dünne Platten doppeltbrechender Körper in den entsprechenden Lagen Dunkelheit und Helligkeit, im letzteren Falle aber schöne Farben, welche mit denjenigen übereinstimmen, welche schon früher bei den Erscheinungen der Interferenz angeführt wurden. Diese als chromatische Polarisation bezeichnete Erscheinung wurde von Arago entdeckt. Ist die Krystallplatte gleichförmig dick, so zeigt sie eine einzige Farbe, ist sie keilförmig, so folgen, der Dicke entsprechend, mehrere Farben in Übergängen aufeinander. Ist die Platte treppenartig und ungleich dick, wie es bei Spaltblättchen vorkommt, so treten die verschiedenen Farben unvermittelt nebeneinander auf.

Dünne Platten von Gyps und Glimmer, dickere von Quarz, zeigen die Farben sehr schön. Oft werden derlei Platten in das Orthoskop eingeschaltet, um bestimmte Farbtöne zum Anhaltspunkte zu gewinnen. In der Fig. 426 ist eine solche Hilfsplatte, welche oberhalb des Objektivsystemes eingeschoben wird, mit v bezeichnet.

Die hier genannten Farben sind eine Interferenzerscheinung. Die vom Polarisator kommenden Lichtwellen werden in der Mineralplatte in zwei Wellen verschiedener Lichtbrechung gespalten. Die beiden Wellen erhalten gegeneinander einen Gangunterschied, weil sie sich mit verschiedener Geschwindigkeit durch die Platte fortbewegen. Wenn eine bestimmte Schwingungsphase der langsameren Welle an der oberen Fläche der Platte angekommen ist, wird sich die raschere schon um einen bestimmten Weg in der Luft fortgepflanzt haben. Die beiden in der Luft fortschreitenden Wellenzüge haben eine Verzögerung gegeneinander erlitten, können aber noch nicht interferieren, weil ihre Schwingungen senkrecht zueinander verlaufen. Werden jetzt durch den Analysator die Schwingungen beider auf dieselbe Ebene gebracht, so vollzieht sich hier eine Interferenz.

Je nachdem Analysator und Polarisator parallel oder gekreuzt sind, erfolgt diese Interferenz gemäß einer Phasendifferenz, welche der Verzögerung gleich oder um eine halbe Wellenlänge größer ist. Dies ergibt sich aus folgender Erwägung: Ist in Fig. 434 PP die Schwingungsrichtung des Polarisators, $\alpha\alpha$ und $\gamma\gamma$ die Schwingungsrichtungen der rascheren und der langsameren Welle in der doppeltbrechenden Platte, so wird sich die vom Polarisator kommende, durch die Amplitude OR dargestellte Schwingung in die Komponenten OM und ON zerlegen. Steht nun die Schwingungsrichtung des Analysators AA senkrecht zu PP , so

Fig. 434.

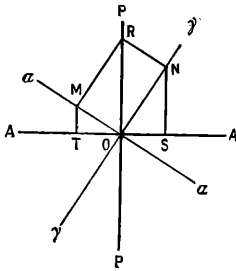
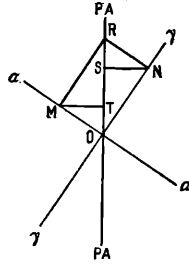


Fig. 435.



werden die beiden von OM und ON in die Richtung AA entfallenden Komponenten OT und OS gegeneinander wirken; sie würden also, wenn die beiden Wellen in der Platte gar keine Gangdifferenz erhielten, sich doch so verhalten, wie zwei Wellen mit der Gangdifferenz einer halben Wellenlänge. Fällt dagegen (Fig. 435) AA mit PP zusammen, so erhält man von den Komponenten OM und

ON gleichgerichtete Komponenten in der Schwingungsrichtung des Analysators und die Interferenz vollzieht sich gemäß der durch die Platte hervorgerufenen Verzögerung. Die Interferenzerscheinungen zwischen parallelen Nicols sind aus diesem Grunde komplementär zu denjenigen zwischen gekreuzten Nicols. Jene entsprechen dem Gangunterschied der beiden Wellenzüge, diese einem um eine halbe Wellenlänge vergrößerten Gangunterschied.

Stellt man aus einem doppeltbrechenden Mineral eine keilförmige Platte her mit sehr geringer Divergenz der beiden Flächen, so gibt ein solcher Keil die Farben, welche verschiedenen zunehmenden Dicken entsprechen, nebeneinander. An der Schneide des Keils hat man die Verzögerung 0 , und dieselbe nimmt gegen das dicke Ende stetig zu. Zwischen gekreuzten Nicols sieht man daher dieselbe Erscheinung, welche eine keilförmige dünne Luftschichte im auffallenden Licht darbietet [101]; zwischen parallelen Nicols treten die Farben auf, die an der Luftschichte im durchfallenden Licht beobachtet werden.

Zur Demonstration und zu Vergleichen benützt man häufig Quarzkeile oder Gypskeile, die gewöhnlich die Farben I.—III. Ordnung zeigen oder auch die Farben I.—V. Ordnung, wie Figur A auf Tafel I.

Der Gangunterschied bleibt derselbe, wenn die Platte mit dem Tische des Mikroskopes gedreht wird, daher zeigt die Platte dabei, abgesehen von der hinzutretenden Verdunkelung, die von 90° zu 90° ihr Maximum erreicht, immer dieselbe Farbe, am reinsten und hellsten in der 45° -Stellung oder Diagonalstellung.

Aus diesem Verhalten ergeben sich nun folgende Regeln:

a) Platten, welche in ihrer Ausdehnung überall gleich dick sind, geben eine einheitliche Interferenzfarbe. Bei sehr geringer Dicke wird man in der Diagonal-

stellung keine Farbe, sondern nur das Grau oder Weiß erster Ordnung sehen. Aus dem gut spaltbaren Gyps kann man solche Platten leicht durch Spalten erhalten. Etwas dickere Platten geben irgend eine der leuchtenden Farben erster, zweiter oder dritter Ordnung. So liefert ein Spaltblättchen von Gyps von der Dicke 0·02 *mm* Grau erster Ordnung. Ein anderes von der Dicke 0·05 *mm* Purpur an der Grenze erster und zweiter Ordnung, ein drittes bei 0·10 *mm* Dicke Orangerot zweiter Ordnung, bei 0·13 *mm* Grün dritter Ordnung. Noch dickere Platten geben keine lebhaften, sondern blasse Farben höherer Ordnung, die endlich in das Weiß höherer Ordnung übergehen.

b) Die Interferenzfarbe hängt aber bei demselben Krystall auch von der Orientierung gegen die Indikatrix ab. Wenn man aus einem Gypsgestein, in welchem die Gypskristalle alle möglichen Richtungen haben, einen ebenen Schliff herstellt, so werden die verschiedenen Individuen je nach ihrer Lage gegen die Schliffebene sehr verschiedene Farben zeigen. Durchschnitte, die die Indikatrix nahe parallel einem Kreissechnitt treffen, werden Weiß oder Grau erster Ordnung zeigen, andere dagegen lebhaftere Farben, die Farben höchster Ordnung wird man bei jenen Schnitten finden, die der Ebene $\alpha\gamma$ parallel sind, weil hier der volle Unterschied $\gamma - \alpha$ die Verzögerung bestimmt. Bei einaxigen Mineralen werden die Schnitte parallel der optischen Axe die Farben höchster Ordnung zeigen.

c) Werden verschiedenartige Minerale miteinander verglichen, so zeigt sich, daß gleichdicke Blättchen, in denen die Hauptschwingungsrichtungen dieselbe Lage aufweisen, sich verschieden verhalten. Die Blättchen jenes Mineralen, in welchem die Doppelbrechung stärker, also $\gamma - \alpha$ größer ist, werden Farben höherer Ordnung zeigen, als die des anderen Mineralen.

d) Hat ein Blättchen zwischen gekreuzten Nicols eine bestimmte Farbe geliefert, so wird bei Parallelstellung der Nicols eine komplementäre Farbe auftreten, denn jetzt verstärken sich die Schwingungen, die früher durch Interferenz ausgelöscht wurden und werden jene verlöscht, die sich früher summierten.

119. Additions- und Subtraktionsfarben. Die Interferenzfarben dünner doppelbrechender Plättchen werden in bestimmter Weise verändert, wenn zwei doppelbrechende Blättchen mit parallelen Schwingungsrichtungen übereinandergelegt und gemeinsam zwischen gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung beobachtet werden.

In jedem Plättchen ist zu unterscheiden die Schwingungsrichtung α' der rascheren Welle und die Schwingungsrichtung γ' der langsameren Welle. Die beiden Blättchen können nun so übereinandergelegt werden, daß α' über α' , γ' über γ' liegt (Additionsstellung). Dann wird der durch die erste Platte erzeugte Gangunterschied in der zweiten Platte vergrößert. Die in Additionslage befindlichen Platten geben in der Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols eine höhere Interferenzfarbe als jede einzelne Platte, die Interferenzfarbe steigt. Liegt dagegen α' der einen Platte über γ' der anderen und umgekehrt, so wird die in der einen Platte hervorgebrachte Verzögerung in der zweiten vermindert (Subtraktionslage). Die Kombination beider Blättchen liefert einen kleineren Gangunterschied als das stärker doppelbrechende für sich allein, die Interferenzfarbe fällt.

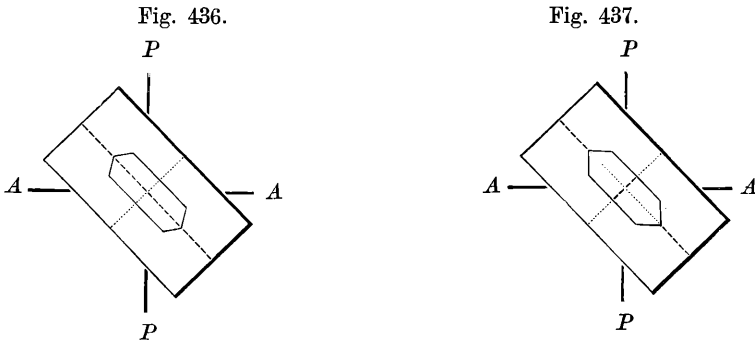
Zwei Platten von gleichem Gangunterschied in der Subtraktionsstellung übereinandergelegt, vernichten den Gangunterschied gänzlich und erscheinen zwischen gekreuzten Nicols auch in der Diagonalstellung dunkel (Kompensation).

Diese Erscheinungen können dazu benützt werden, um zu entscheiden, welche von den beiden Hauptschwingungsrichtungen einer Platte die Schwingungsrichtung α' der rascheren Welle, welche die der langsameren γ' ist, indem man die zu untersuchende Platte mit einer Platte bekannter Orientierung kombiniert. Zum Einführen der Hilfsplatte hat der Tubus des Orthoskopes über dem Objektiv oder die Fassung des Aufsatznicols einen Schlitz.

Zwei Fälle sind zu unterscheiden:

a) Die zu untersuchende Platte hat einen geringen Gangunterschied, so daß sie für sich allein Grau oder höchstens Weiß erster Ordnung liefert. Als Hilfsplatte verwendet man eine Platte von Gyps, auf welcher die Richtungen γ und α verzeichnet sind. Diese Hilfsplatten werden jetzt von den optischen Werkstätten so geliefert, daß die längere Rechteckseite α entspricht. Die Hilfsplatte ist ungefähr 0.05 mm dick und gibt für sich allein das empfindliche Purpur an der Grenze der ersten und zweiten Ordnung. Eine kleine Vermehrung des Gangunterschiedes läßt die Interferenzfarbe zu Blau zweiter Ordnung aufsteigen, eine Verminderung zu Orange oder Gelb herabsinken.

In den Fig. 436 und 437 ist die Hilfsplatte (gewöhnlich als Gyps Rot I bezeichnet)



größer gezeichnet und die Richtung α ist gestrichelt, die Richtung γ punktiert. PP und AA bedeuten die Hauptschnitte von Polarisator und Analysator. Kombiniert man das Hilfsplättchen mit einem dünnen Durchschnitt parallel der Hauptaxe durch einen negativen Apatitkristall, der für sich Grau erster Ordnung gibt, so befinden sich beide Plättchen, wie es Fig. 436 zeigt, in Additionsstellung, der Apatit hebt sich mit steigender (blauer) Interferenzfarbe vom Purpur des Gesichtsfeldes ab.

Macht man die gleiche Untersuchung mit einem sehr dünnen Durchschnitt parallel der Axe des optisch positiven Quarzes, so sind die beiden Plättchen in Subtraktionsstellung, der Quarz hebt sich gelb vom purpurnen Gesichtsfeld ab. (Fig. 437.) Man kann diese Farbenänderung benützen, um bei Durchschnitten einaxiger Körper parallel zur Axe den Charakter der Doppelbrechung zu be-

stimmen. Diese Untersuchung läßt sich auch an zur Axe geneigten Schnitten durchführen, wenn man nur den Hauptschnitt kennt, welcher die Hauptaxe enthält.

b) Liegen Platten mit höheren Interferenzfarben oder mit Weiß höherer Ordnung vor, so wendet man Hilfsplatten von keilförmiger Gestalt an, die aus Gyps oder Quarz, und zwar jetzt in der Regel so hergestellt werden, daß die schmale Schneide des Keils der Schwingungsrichtung γ , die Längsseite α parallel ist. Die Keile zeigen je nach Bedarf die Farben erster bis dritter oder bis fünfter Ordnung oder auch bis zum Weiß höherer Ordnung.

Die zu untersuchende Platte kann man entweder in Additionslage oder in Subtraktionslage mit dem Keil kombinieren. Die Subtraktionslage ist daran zu erkennen, daß beim Verschieben des Keils, so daß immer dickere Schichten eingeschaltet werden, Farben immer niedrigerer Ordnung zum Vorschein kommen; endlich, wenn jene Stelle des Keils eingeschaltet wurde, die denselben Gangunterschied liefert wie die zu prüfende Platte, entsteht das Schwarzgrau der Kompensation. Hat man an den fallenden Farben oder an der Kompensation die Subtraktionslage der Platten erkannt, so liegt α in der Platte so wie γ des Keils.

Aus dem Vorigen ergeben sich auch die Methoden zur annähernden Bestimmung der Größe der Doppelbrechung $\gamma - \alpha$ in dünnen Blättchen. Nach der einen wird die Kompensation benutzt, indem mittels zweier eingeschalteter Quarzkeile, deren Richtungen α und γ sich wechselweise decken, die Dicke der Quarzschicht bestimmt wird, welche die in dem zu prüfenden Mineral entstandene Doppelbrechung wieder aufhebt (Kompensator von Babinet). Nach der zweiten wird die Interferenzfarbe, welche das zu prüfende Mineralblättchen in der Diagonallage erzeugt, durch Vergleich mit den Farben, die ein Quarzkeil hervorruft, ermittelt und die zugehörige Dicke des Quarzes gemessen. (Komparator von Michel-Levy.)

Das zu prüfende Mineralblättchen wird so geschnitten, daß die Richtungen α und γ in der Ebene desselben liegen. Ist nun g der Gangunterschied der beiden durch Doppelbrechung entstandenen Wellen, welche das Blättchen, dessen Dicke d , hervorruft, so ist

$$g = d (\gamma - \alpha).$$

Um denselben Gangunterschied hervorzurufen, wird ein ebenso geschnittener Quarz die Dicke d' haben müssen. Da nun $\gamma - \alpha$ im Quarz 0·0091 beträgt, so hat man $g = d (\gamma - \alpha) = 0\cdot0091 d'$, woraus die Stärke der Doppelbrechung in dem zu prüfenden Mineral sich berechnet nach:

$$\gamma - \alpha = 0\cdot0091 \frac{d'}{d}.$$

Für die Berechnung der Dicke einer zu α und γ parallelen Platte, welche eine bestimmte Farbe, z. B. Rot erster Ordnung liefert, wird wiederum die Beziehung $g = d (\gamma - \alpha)$ benutzt, indem jetzt statt g der Gangunterschied für jenes Rot, nämlich 0·000551 mm, eingesetzt wird. So ergibt sich für Kalkspat die Dicke von 0·0032 mm, für Quarz 0·0605 mm, für Apatit 0·1267 mm, für Aragonit 0·0035 mm, für Muskovit 0·0142 mm, für Albit 0·0525 mm.

Zeigt ein Blättchen keine deutliche Doppelbrechung und infolgedessen keine deutliche Farbe, so ergibt das Einschalten einer Platte, die für sich eine empfindliche Farbe hervorruft, sogleich Aufschluß, denn jetzt steigt oder fällt die Farbe, wenn das erstere Blättchen doppeltbrechend ist.

Über die Prüfung der Krystalle in Dünnschlifen: Tschermak, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 59, Mai 1869. Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie der petrogr. wichtigen Minerale, 1892. Liebisch, Physikal. Krystallographie, 1891. Levy et Lacroix, Les minéraux des roches. Paris, 1888. Mit sehr schöner Chromotafel. Becke, Denkschriften der Wiener Akademie, Bd. 75, S. 155 (1905).

120. Interferenzfiguren. Man kann die Erscheinungen im polarisierten Licht bedeutend verändern, wenn man statt des einfallenden möglichst parallelen Lichtes konvergentes Licht in die zu untersuchende Platte gelangen läßt und nicht die Platte selbst, sondern die auf eine Fläche vor oder hinter der Platte projizierte Interferenzfigur beobachtet.

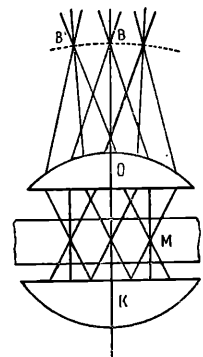
Bei der Beobachtung mit der Turmalinzange geschieht es in der Weise, daß man die letztere nach Einschiebung der Platte nahe an das Auge bringt und den Blick auf eine ausgedehnte lichtpendende Fläche, z. B. den freien Himmel, weiße Wolken, eine beleuchtete weiße Wand richtet. Das Auge sieht jetzt nicht die Platte, sondern es empfängt Lichteindrücke von Strahlen, die in Form eines Lichtkegels die Platte durchsetzen und projiziert diese Lichteindrücke auf jene leuchtende Fläche.

Einen Apparat, welcher zur Beobachtung der Interferenzbilder geeignet ist, hat zuerst Nörremberg angegeben. Durch die Verwendung Nicolscher Prismen ist er verändert und auch sonst umgestaltet worden. Er dient gegenwärtig zur Prüfung größerer Krystallplatten. Der Apparat soll hier als Konoskop angeführt werden. Die Untersuchung der Interferenzbilder wird demnach als konoskopische Prüfung bezeichnet.

Die wesentlichen Teile eines Konoskopes sind: ein Polarisator, ein System von Konvexlinsen, welches die vom Polarisator kommenden Strahlen konvergent macht und als Lichtkegel durch die Platte leitet (Kondensor, Fig. 438 *K*); ein zweites System von Konvexlinsen, welches die von der Platte kommenden Lichtbündel weiterleitet (Objektiv *O*), und ein Analysator.

Die Strahlen, welche parallel mit der Axe des Instrumentes die Platte *M* durchsetzen (vergl. Fig. 438), vereinigen sich im Brennpunkt des Objektivs *B*. Ein paralleles Strahlenbündel, das mit der Axe des Instrumentes einen Winkel einschließt, vereinigt sich in einem Punkte *B'* seitwärts vom Brennpunkt. Jedem Strahlenbündel entspricht ein solcher Vereinigungspunkt, der um so weiter von der Mitte absteht, je größer der Winkel, den das zugehörige Strahlenbündel mit der Axe einschließt. Alle diese Vereinigungspunkte liegen in einer durch den Brennpunkt des Linsensystems laufenden Fläche, der hinteren Brennpfläche des Objektivs. Die Lichtstrahlen gelangen von da weiter

Fig. 438.



in den Analysator, werden hier zur Interferenz gebracht und treffen schließlich das Auge des Beobachters.

Dieser sieht nun nicht ein Bild der Platte, sondern er nimmt in den aneinanderschließenden Punkten der Brennfläche nebeneinander alle Erscheinungen wahr (Auslöschung, Aufhellung, Interferenzfarben), welche die Platte bei ortho-

Fig. 439.

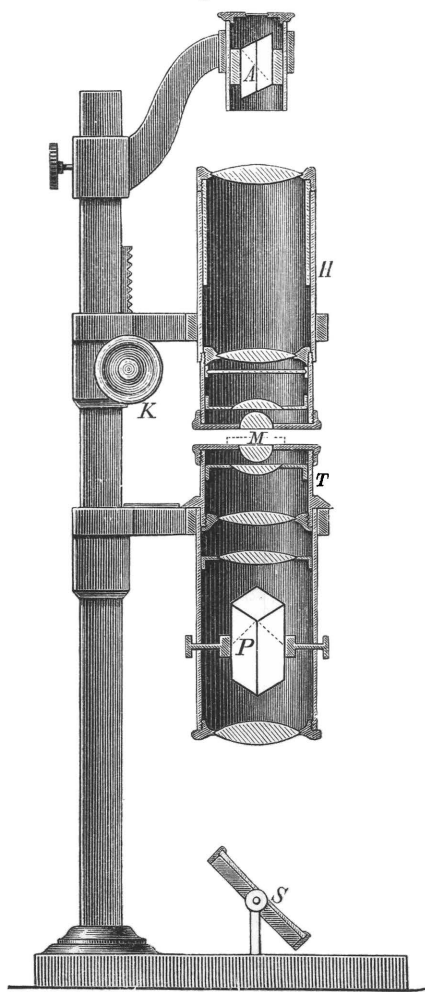
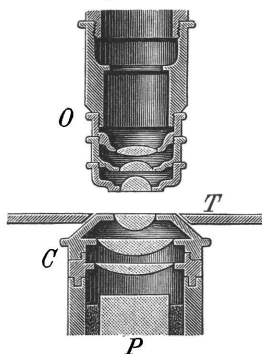


Fig. 440.



skopischer Beobachtung in den zugeordneten Richtungen nacheinander zwischen gekreuzten Nicols darbieten würde.

Die jetzt übliche Einrichtung des Kono-skops zeigt Fig. 439.

Die von dem Spiegel *S* in das Instrument eintretenden Strahlen gelangen durch eine Linse in den Polarisator *P* und werden hierauf durch den Kondensator, ein Linsensystem, dessen oberste Linse halbkugelig ist, konvergent gemacht, worauf sie durch die zu prüfende Platte *M*, ferner durch eine zweite halbkugelige Linse und ein ferneres Linsensystem, das Objektiv, in den Analysator *A* sich fortpflanzen. Die letzte Linse wirkt als Lupe. Das Stück *T* ist drehbar und am Rande mit einer Gradeinteilung versehen. Der obere Teil *H* kann durch den Trieb bei *K* auf und ab geschoben werden, so daß die Platte *M* zuerst mit freier Hand zurechtgelegt werden kann, worauf sie, nachdem *H* gesenkt worden, knapp zwischen beiden halbkugeligen Linsen zu liegen kommt.

Zur Prüfung von kleinen Mineralblättchen und von Kryställchen, welche frei liegen oder in Dünnschliffen enthalten sind, wird dasselbe Mikroskop Fig. 426 verwendet, welches zur orthoskopischen Untersuchung dient. Es bedarf nur einer leicht ausführbaren Veränderung desselben, um das in das Mineralblättchen einfallende polarisierte Licht konvergent zu machen. Zu diesem Zwecke schiebt man

in die Öffnung des Tisches *T* (Fig. 440) von unten her ein Linsensystem, einen Kondensator *C*, welcher auf den Polarisator *P* paßt, und nimmt das Okular, welches sich unter dem Analysator befand, heraus. Jetzt gibt das Instrument dieselben Erscheinungen, wie das vorher beschriebene Konoskop, denn das Mineralblättchen befindet sich wiederum zwischen halbkuguligen Linsen und gekreuzten Nicols. Das Orthoskop ist in ein Konoskop verwandelt. Diese bequeme Modifikation wurde von A. v. Lasaulx angegeben. (Jahrb. f. Min., 1878, S. 377.)

Das von dem Mikroskop gelieferte Bildchen ist sehr klein; man verwendet daher häufig einen optischen Hilfsapparat, der eine Vergrößerung des kleinen Bildchens bewirkt. Er besteht aus einer in den Tubus einschiebbaren Konvexlinse (von Bertrand zuerst vorgeschlagen, daher Bertrandsche Linse genannt), welche im Verein mit dem Okular wie ein schwach vergrößerndes Mikroskop wirkt. Es ist zu berücksichtigen, daß dieses Hilfsmikroskop das Interferenzbild um 180° verwendet.

Zur Aufsuchung der optischen Axen in einem Krystall, in Spaltungs- oder Bruchstücken von Krystallen, dient in vielen Fällen das früher [112] erwähnte, von Klein empfohlene Verfahren des Eintauchens in eine Lösung von gleichem Brechungsquotienten. Das durchsichtige Gefäß wird in das Konoskop oder in den später zu beschreibenden Axenwinkelapparat eingeschaltet.

121. Jede doppelbrechende Platte liefert bei konoskopischer Beobachtung eine Interferenzfigur. Besonders charakteristisch sind die von Platten optisch einaxiger Krystalle senkrecht zur optischen Axe geschnitten, und von Platten optisch zwei-axiger Krystalle senkrecht zur ersten Mittellinie.

Ist die Platte aus einem optisch einaxigen Individuum senkrecht zur optischen Axe geschnitten, so erscheint im Konoskop eine Interferenzfigur, aus einem schwarzen Kreuz und konzentrischen farbigen Ringen bestehend; Taf. I, Fig. *B*. Die Balken des Kreuzes sind den beiden Nicolhauptschnitten parallel, also senkrecht zueinander. Stellt man die beiden Nicols zueinander parallel, so ist die Erscheinung verändert und es ergibt sich die zur vorigen komplementäre Fig. *C*. Statt des schwarzen Kreuzes bemerkt man ein helles. Farbenringe sind vorhanden, jedoch in komplementärer Lage und Färbung. Wird die Platte mittels des Tisches *T* horizontal gedreht, so bleibt die Erscheinung unverändert und es öffnet sich das Kreuz nicht.

Für die Untersuchung im Konoskope werden dickere Platten verwendet. Zu dünne geben zwischen gekreuzten Nicols bloß Dunkelheit oder ein sehr breites, verwaschenes Kreuz. Je dicker die Platte oder je stärker deren Doppelbrechung, desto enger sind die Ringe. Wird statt des Tageslichtes ein homogenes, z. B. gelbes Licht einfallen gelassen, so erscheinen, so wie das Kreuz, auch die Ringe schwarz.

Wird in das Konoskop mit gekreuzten Nicols eine Platte geschoben, welche aus einem optisch zwei-axigen Körper, z. B. einem Aragonitkrystall, so geschnitten ist, daß die Schnittfläche zur ersten Mittellinie, also zur Halbierungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen, senkrecht ist, so erscheint die Fig. *F*, wofern die Ebene der optischen Axen mit einem der beiden Nicolhauptschnitte parallel

ist. Man sieht ein schwarzes Kreuz, dessen Arme wiederum den beiden Nicolhaupt schnitten parallel sind; jedoch ist der eine merklich breiter, der andere schmaler. An letzterem liegen symmetrisch zum vorigen zwei Systeme von Farbringen, deren Mittelpunkte den optischen Axen entsprechen. Bringt man die Platte durch Drehung des Tisches *T* aus der vorigen Lage, so trennt sich das Kreuz und bildet zwei gekrümmte Schweife. Sobald aber die Ebene der optischen Axen mit den beiden Nicolhaupt schnitten einen Winkel von 45° bildet, also eine Diagonalstellung einnimmt, ergibt sich die Fig. *G*, in welcher zwei dunkle Hyperbeln die Ringsysteme durchschneiden und die Ringe sich zum Teil in der Mitte des Gesichtsfeldes vereinigen, wodurch Lemniskaten entstehen. Bringt man die Aragonitplatte wiederum in die Normalstellung, dreht aber jetzt den einen Nicol bis zur Parallelstellung mit dem anderen, so ergibt sich anstatt der früher erhaltenen Fig. *F* die dazu komplementäre. Bezüglich der Dicke der Platten, der Breite der Ringe und der Erscheinung im homogenen Lichte gilt dasselbe wie für die Platten optisch einaxiger Krystalle.

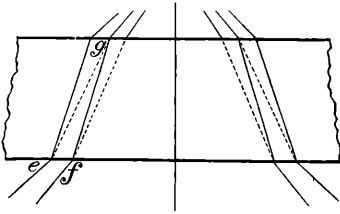
Wenn der Winkel der optischen Axen sehr groß ist, so erscheinen die beiden Ringsysteme nicht im Gesichtsfelde, sondern es zeigt sich dort bloß der mittlere Teil der Fig. *F* oder *G*. Wenn hingegen der Winkel der optischen Axen klein ist, wie im Glauberit, so zeigt sich im mittleren Teile der erhaltenen Figur nichts von einem farbigen Ringe, weil die beiden Ringsysteme sich außen zu elliptischen Formen vereinigen. In der Normalstellung gibt also der Glauberit die Fig. *D*, welche sich dem Bilde nähert, das ein optisch einaxiger Körper liefert. In der Diagonalstellung aber zeigt er die Erscheinung in Fig. *E*, welche durch die Trennung der beiden Hyperbeln die Existenz zweier optischen Axen anzeigt. Aus Individuen mit großem Axenwinkel können Platten senkrecht gegen eine optische Axe geschnitten werden, welche bloß ein einziges Ringsystem mit einem dunkeln Schweif zeigen; die Form des Bildes einer einzigen optischen Axe zeigt die Ringe nicht verzerrt, entspricht aber sonst ganz den Fig. *F* und *G*.

Die Interferenzfiguren, welche für die optische Prüfung der Minerale eine große Bedeutung erlangt haben, wurden zuerst von Brewster beobachtet (1813). Die Erklärung wurde von Airy (1831) und F. E. Neumann (1834) gegeben. Die Figuren setzen sich aus den farbigen Kurven, deren jede in ihrem Verlaufe dieselbe Beschaffenheit zeigt (isochromatische Kurven) und aus den dunklen Balken zusammen. Die isochromatischen Kurven leiten sich von der schiefen Stellung der die Mineralplatte durchsetzenden Strahlen ab. Aus der unteren halbkugeligen Linse treten die Strahlen polarisierten Lichtes in der Form eines Kegels aus. Nur der Strahl, welcher die Axe des Kegels bildet, fällt senkrecht auf die Platte, alle übrigen sind um diese Axe in verschiedenen Winkeln geneigt.

Ist nun die Platte aus einem optisch einaxigen Krystalle senkrecht zur Hauptaxe geschnitten, so kommt in Betracht, daß das einfallende Licht aus sehr vielen Strahlen zusammengesetzt ist, von denen jene mit gleicher Neigung zur Axe immer einen Kegelmantel bilden. Der ganze Lichtkegel besteht also aus vielen Kegelmänteln gleicher Höhe, von denen der folgende immer eine größere Basis hat als der vorhergehende. Beim Eintritte in die Platte spaltet sich infolge der

Doppelbrechung jeder Kegelmantel und bildet einen etwas steileren und einen weniger steilen Mantel. Im Vertikalschnitte betrachtet, wird ein bei f eintretender Strahl in einen schwächer gebrochenen und in einen stärker gebrochenen geteilt. Beim Austritte aus der Platte vereinigt sich aber der letztere mit dem schwächer gebrochenen Teile eines Strahles, der bei e eingetreten ist, und beide setzen miteinander von g aus denselben Weg fort, Fig. 441. Infolge des Gangunterschiedes wäre eine Interferenz dieser vereinigten Strahlen möglich [101], da sie aber Schwingungsrichtungen besitzen, die um 90° verschieden sind, so erfolgt eine Interferenz erst in dem oberen Nicol, der beide Anteile auf dieselbe Schwingungsrichtung

Fig. 441.



bringt. Da nun derselbe Gangunterschied nur für einen einzigen Kegelmantel der Strahlen zutrifft, der die hintere Brennfäche ringförmig durchsetzt, so wird für die Betrachtung durch den oberen Nicol die gleiche Interferenzfarbe ringförmig angeordnet erscheinen.

Die Ringe werden dieselbe Aufeinanderfolge der Farben zeigen müssen wie bei der Interferenz in dem Newtonschen Farbenglase und so, wie an dem Quarzkeil in der Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols. (Siehe Tafel I, Fig. A.)

Daß die Ringe an dickeren Platten desselben Mineralen enger erscheinen, folgt daraus, daß für die dickere Platte wegen größerer Weglänge des durchgehenden Lichtes der zur Auslöschung erforderliche Gangunterschied schon in einem steileren Kegelmantel erreicht wird, der einen kleineren Querschnitt besitzt.

Bei Anwendung von monochromatischem, z. B. rotem Lichte werden die Ringe schwarz erscheinen müssen.

Das Auftreten des schwarzen Kreuzes ergibt sich aus der Anordnung der Schwingungsrichtungen (Auslöschungsrichtungen), wie sie in der Fig. 431 auf S. 220 im Zusammenhange, und zwar in der parallel-perspektivischen Projektion dargestellt sind. Die Auslöschungsrichtungen projizieren sich in der hinteren Brennfäche auch so, wie es diese Figur anzeigt, jedoch ist wieder zu bemerken, daß die Schwingungsrichtungen bloß für Distanzen von je 15° vom Zentrum aus eingetragen sind. Wird nun über jene Figur ein Netz von rechtwinkelig sich kreuzenden Linien gelegt, so geben die Fäden des Netzes die Schwingungsrichtungen der beiden Nicols an. Wo diese Richtungen mit einer oder mit zweien der in der Zeichnung angedeuteten Schwingungsrichtungen übereinstimmen, Fig. 442, muß in dem oberen Nicol Auslöschung eintreten [115]. Dies findet an den in der Figur mit Strichelchen bezeichneten Orten statt, welche in ihrer Aufeinanderfolge die Form eines Kreuzes bezeichnen. Wird das Netz fix angenommen, die darunterliegende Zeichnung um den Mittelpunkt gedreht, so bleibt die Stellung des Kreuzes unverändert. Dieselbe ist nur von der gekreuzten Stellung des Nicols abhängig.

Die isochromatischen Kurven in den Axenbildern optisch zweiaxiger Krystalle leiten sich bezüglich der Interferenz in der früher angeführten Weise ab. Was die Form der Kurven betrifft, ist hinzuzufügen, daß unter den vielen Strahlen,

welche die Mineralplatte als Lichtkegel durchsetzen, auch solche auftreten, die um jede der beiden optischen Axen kegelförmig angeordnet sind, so daß die Strahlen desselben, jetzt schief stehenden Kegelmantels dieselbe Interferenzfarbe liefern. Demnach wird es einen solchen Kegel geben, der um den Axenpunkt herum einen Ring liefert, welcher die Farben des ersten Ringes der optisch ein-

Fig. 442.

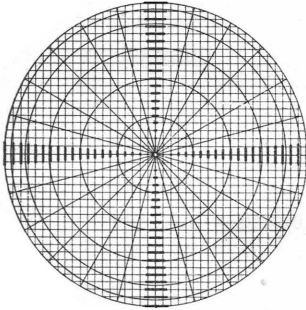


Fig. 443.

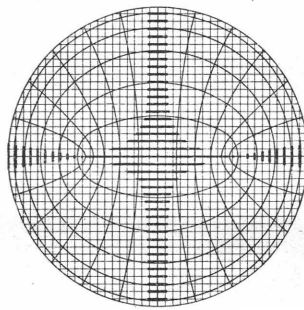
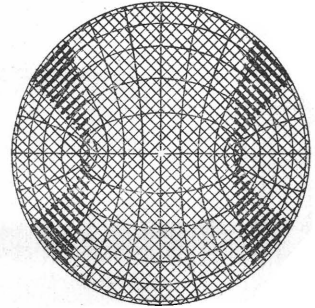


Fig. 444.



axigen Platte zeigt, einen breiteren Kegel, der den folgenden Ring mit den entsprechenden Farben zweiter Folge hervorruft u. s. w. Da die optische Axe gegen die Ebene der Krystallplatte schief liegt, so werden die Schnitte jener Kegel keine kreisförmigen, sondern ovale Ringe darbieten.

Zur Ableitung des dunklen Kreuzes dient wiederum die Kombination der in Fig. 432 angegebenen Folge von Auslöschungsrichtungen mit einem Netze rechtwinkliger Linien, was zu der Fig. 443 leitet. Wo die Fäden dieses Netzes mit einer oder mit beiden der gezeichneten Schwingungsrichtungen übereinstimmen, wird in dem Bilde, das im oberen Nicol erzeugt wird, Dunkelheit eintreten, und diese Orte sind mit Strichelchen bezeichnet, welche zusammen ein Kreuz darstellen.

Wird die Projektion der Auslöschungsrichtungen in der Umgebung einer der optischen Axen für die Diagonalstellung ausgeführt und diese mit einem Netze rechtwinkliger Linien kombiniert, so ergeben sich Stellen, an welchen diese mit einer oder zweien der Auslöschungsrichtungen gleichlaufen, und diese sind in Fig. 444 mit Strichelchen bezeichnet. Letztere geben die Figur je einer Hyperbel an, welche den Axenpunkt durchsetzt.

Photographische Abbildungen enthalten die Werke von H. Hauswaldt: Interferenzerscheinungen an doppeltbrechenden Krystallplatten. Magdeburg, 1902, und Interferenzerscheinungen im polarisierten Lichte, 1904.

122. Dispersion der Axen. An dem Axenbilde der optisch zweiaxigen Körper, wie es im Konoskop erscheint, bemerkt man oft Farbenverteilungen, welche von der gleichförmigen Anordnung um die optische Axe abweichen und von einer Dispersion der optischen Axen abgeleitet werden. Man erkennt dieselben besonders deutlich an dem Saume der dunklen Hyperbeln und an den ersten Farbringen. So erscheinen in Fig. G auf Taf. I, welche das Axenbild des Aragonits darstellt, die Hyperbeln dort, wo sie die Axenpunkte durchsetzen, gegen die Mitte

des Gesichtsfeldes blau, nach außen rot gesäumt. Das Blau ist also gegen die Mitte des Gesichtsfeldes oder Axenbildes geschoben, das Rot aber nach außen hin gerückt. Dementsprechend sind auch an der Innenseite der ersten Ringe, sowohl in der Normalstellung *F* als in der Diagonalstellung *G*, die Farben verschoben, und zwar ist in beiden Fällen das Rot in dem gegen die Mitte der Figur gewendeten Teile des Ringes stärker entwickelt.

Um den Grund der Verschiebung einzusehen, hat man sich zuerst daran zu erinnern, daß die Erscheinung im gewöhnlichen weißen Lichte auftritt, welches alle Lichtarten enthält. Wendet man monochromatisches, z. B. orangefarbiges Licht an, welches der Kürze wegen hier als rot bezeichnet wird, so erhält man

Fig. 445.



schwarze Hyperbeln und bloß schwarze Ringe. (Punktierte Linien in beistehender Fig. 445.) Wendet man sodann monochromatisches blaues Licht an, so erhält man wiederum schwarze Hyperbeln und schwarze Ringe, aber nicht mehr genau an derselben Stelle, wie vorhin im roten Lichte, sondern um etwas verschoben. (Ausgezogene Linien der Figur.) Die Axenpunkte, für Rot *r* und für Blau *b*, liegen demnach an verschiedenen Stellen.

Bei Anwendung von Tageslicht wird nun dort, wo die punktierten Linien angegeben sind, rotes Licht vernichtet, die übrigen Lichtarten aber bleiben erhalten und geben ein komplementäres Blau. An der Stelle, wo die ausgezogenen Linien liegen, wird nur blaues Licht vernichtet, die übrigen Lichtarten liefern ein komplementäres Rot. Die an den Hyperbeln und am ersten Ring verschoben auftretenden Farben sind also gleichsam verkehrt zu deuten. Wo Rot erscheint, dort ist eigentlich die Hyperbel und der dunkle Ring für Blau; wo Blau erscheint, dort ist eigentlich die Hyperbel und der dunkle Ring für Rot.

Wo die Hyperbel auch im Tageslichte grau ist, dort werden alle Lichtarten vernichtet.

Genau genommen hat also jede Lichtart ihren besonderen Ring und ihre besondere Hyperbel, also ihr besonderes Axenbild. Weil aber die einzelnen Hyperbeln etwas breiter sind, so fallen sie zum Teil übereinander. Da jede Farbe ihr Axen-

Fig. 446.

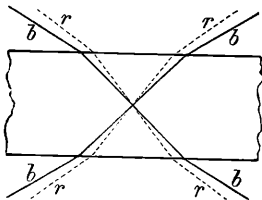


bild an einer anderen Stelle hat, so wird im allgemeinen auch die Distanz zwischen den Mittelpunkten beider Axenbilder und somit der Axenwinkel für jede Farbe ein anderer sein. Fig. 446. In dem vorigen Beispiele ist der Axenwinkel für Rot kleiner als für Violett, was man durch $\rho < \nu$ ausdrückt. Man erkennt dieses daran, daß die Hyperbeln gegen außen rot gesäumt sind. Wenn hingegen die Hyperbeln nach außen blau gesäumt sind, wie in Fig. *A* und *B* auf Taf. II. (Adular), so wird man

schließen, daß der Axenwinkel für Rot größer sei als für Blau, was durch $\rho > \nu$ ausgedrückt wird.

Was nun weiter die Verteilung der Farben in dem ganzen Bilde betrifft, so kann dieselbe symmetrisch oder unsymmetrisch sein. Die Vorausbestimmung erfolgt

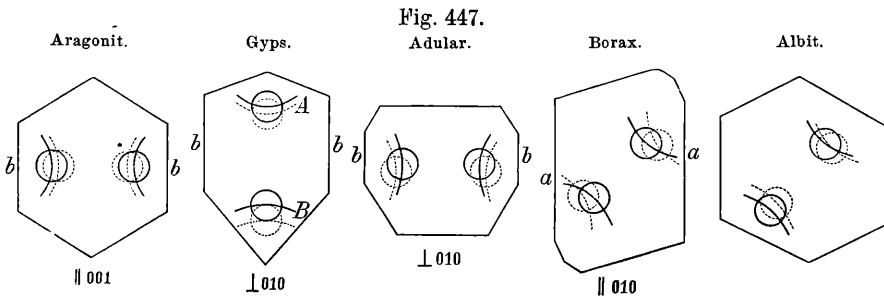
nach dem Grundsatz, daß die Symmetrie der optischen Orientierung immer jener der Stufe V in jedem der drei Krystallsysteme entspricht. Die Anordnung der Farben leitet sich sodann von dem Symmetriecharakter der Fläche ab, zu welcher die untersuchte Platte parallel ist. Da in dem rhombischen, monoklinen und triklinen Systeme nur disymmetrische, monosymmetrische, dimetrische und asymmetrische Flächen möglich sind, so wird die Dispersion im ganzen Bilde entweder disymmetrisch, monosymmetrisch, dimetrisch oder asymmetrisch sein können.

Die Aragonitplatte (rhombisch), welche die Bilder *F* und *G* auf Taf. I gibt, ist einer Endfläche parallel, also disymmetrisch. Zieht man in den genannten Bildern eine Linie durch die Axenpunkte, eine zweite senkrecht zur vorigen durch die Mitte des Bildes, so sind dieselben Symmetrielinien. Beide Bilder sind disymmetrisch.

Eine Platte von Gyps (monoklin), welche die Bilder *C* und *D* auf Taf. II liefert, ist senkrecht gegen die Symmetrieebene geschnitten. Dementsprechend ist das Farbenbild monosymmetrisch, die Symmetrielinie geht durch beide Axenpunkte. Diese Art der Dispersion nennt Neumann geneigte Dispersion.

Der Adular (monoklin) liefert die Bilder *A* und *B* auf Taf. II. Die Platte ist senkrecht zur Symmetrieebene, die Dispersion dementsprechend monosymmetrisch. Die Symmetrielinie ist aber senkrecht zur Verbindungslinie der Axenpunkte. Diese Art der Dispersion wird die horizontale genannt.

Eine Platte von Borax (monoklin), welche der Symmetrieebene parallel ist, hat einen dimetrischen Charakter [31]. Sie gibt die Bilder *E* und *F* auf Taf. II, deren Farbenverteilung dimetrisch ist. Diese Art der Dispersion wird die gedrehte genannt.



Der Oligoklas (triklin) liefert die Bilder *G* und *H* auf Taf. II, welche eine asymmetrische Dispersion zeigen.

Die Erklärung der verschiedenen Dispersionen ist in den schematischen Zeichnungen, Fig. 447, angedeutet, welche beiläufig angeben, wie die Bilder der Axen für verschiedene Farben zu liegen kommen; doch sind die Abweichungen übertrieben dargestellt. Die Ringe für Rot sind wiederum punktiert, jene für Blau ausgezogen.

Im Aragonit sind die Axen für alle Farben parallel der Querfläche und zugleich symmetrisch zur Längsfläche *b* angeordnet, daher die disymmetrische Zeichnung und Farbenverteilung des Doppelbildes. Im Gyps liegen alle Axen in

der Symmetrieebene, bei B weichen aber die Axen für Rot und Blau stärker ab als bei A , daher sind die Axenbilder voneinander verschieden. Sucht man sich die Mittellinie zwischen den Axen für Rot, sodann die Mittellinie zwischen jenen für Blau, so sind beide in der Symmetrieebene, weichen aber von einander ab. Die Mittellinien der Axenwinkel erscheinen also dispergiert. Im Adular bilden die Axen für jede Farbe mit der Symmetrieebene gleiche Winkel, im übrigen sind sie verschieden gelagert, daher geben sie wiederum eine monosymmetrische Anordnung. Von Borax muß man eine Platte parallel zur Symmetrieebene nehmen, um die Axen zu sehen. Sowohl jene für Blau, als jene für Rot bilden mit der Normale auf b gleiche Winkel, im übrigen ist ihre Lage verschieden, dies ergibt eine dimetrische Anordnung. Im Adular sind die Mittellinien der spitzen Axenwinkel für verschiedene Farben dispergiert, im Borax fallen sie zusammen, dagegen sind hier die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben verschieden, also diese Ebenen dispergiert. Der Albit als triklines Mineral zeigt für jede Farbe eine andere Lagerung der Axen ohne Regel, daher die Anordnung eine unsymmetrische, die Axenbilder sind verschieden, die Mittellinien und die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben sind dispergiert.

Eine besondere Art der Dispersion entsteht dadurch, daß die Abweichung der Axenebene für einige Farben 90° beträgt. Fig. D und E auf Taf. I geben die Erscheinung am Glauberit an, in welchem die Axen für Rot in einer Ebene liegen, die in den Figuren horizontal ist, die Axen für Blau aber in einer zur vorigen vertikalen Ebene. Eine ähnliche Erscheinung zeigt auch der Brookit.

123. Axenwinkelapparat. Die Beobachtung der Interferenzfiguren dient nicht nur zur Unterscheidung der optisch einaxigen und zweiaxigen Minerale und zur Erkennung der Dispersion, sondern auch zur Messung des Winkels der optischen Axen. Zu diesem Zwecke spaltet oder schneidet man eine Platte senkrecht zur Halbierungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen, Fig. 448. In dieser bildet jede der beiden Axen mit jener Linie denselben Winkel V , und es ist $2V$ der Winkel, welchen die optischen Axen tatsächlich miteinander einschließen und welcher der wahre Winkel der optischen Axen heißt. Der Lichtstrahl aber, welcher in der Richtung einer optischen Axe durch die Platte MM gegangen ist, wird beim Austritte in die Luft von dem Einfallslot abgelenkt und bildet nun mit demselben den Winkel E . Ebenso verhält sich der Strahl, welcher parallel zur zweiten Axe hindurchgeht. Demgemäß ist $2E$ der Winkel, den man bei der Beobachtung in Luft erhält. Er ist der scheinbare Winkel der optischen Axen in Luft und ist immer größer als der wahre. Im folgenden wird nach dem Vorschlage von Descloizeaux die Hälfte des wahren spitzen Winkels mit V_a , die Hälfte des wahren stumpfen Winkels mit V_o , ferner die Hälfte des scheinbaren Winkels in Luft mit E_a und E_o bezeichnet.

Um den scheinbaren Winkel zu messen, bringt man die Platte in Diagonallage in ein Instrument, welches wie ein Konoskop gebaut ist und ein Fadenkreuz im Okular hat, und stellt in diesem zuerst das eine, dann das zweite Axenbild an dem Kreuzpunkt ein. Die zwischen beiden Einstellungen erfolgte Drehung wird an dem

Limbus oder Vollkreis V , mit welchem die untersuchte Platte in Verbindung steht, abgelesen.

Die Fig. 449 zeigt die Stellung der Platte, von oben gesehen, in dem Augenblicke der Beobachtung der einen Axe, die Fig. 450 gibt die entsprechende Koinzidenz des Fadenkreuzes mit dem Zentralpunkte des Axenbildes an. Fig. 451

Fig. 448.

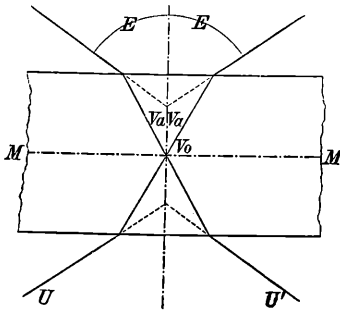


Fig. 449.

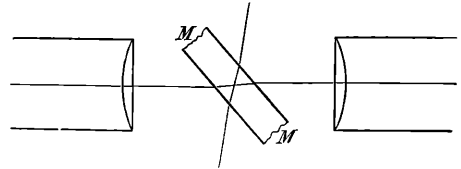
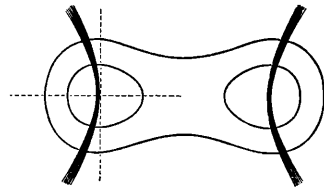


Fig. 450.



liefert die Ansicht des Axenwinkelapparates nach der v. Langsches Konstruktion. Die vertikale, drehbare Axe hat oberhalb des Limbus V einen Zeiger, unterhalb desselben eine Vorrichtung C zum Zentrieren und eine solche J zum Justieren der in der Pinzette befindlichen Platte.¹⁾

Um den Axenwinkel auch bei höheren Temperaturen zu bestimmen, setzt man auf den Träger T einen durchsichtigen Luftkasten, in welchen man das Mineralplättchen hinabsenkt, Fig. 452. Die Temperatur, welche die Umgebung des letzteren infolge der Erhitzung durch die Flammen $F F$ angenommen hat, wird an zwei Thermometern abgelesen.

Wenn der Axenwinkel so groß ist, daß V_a den Winkel der totalen Reflexion erreicht oder überschreitet, so sieht man in der Luft kein Axenbild mehr. Man kann sich aber in vielen Fällen damit helfen, daß man die Platte in Öl taucht, welches in einem durchsichtigen Behälter enthalten ist und welches die

¹⁾ Man kann an jedem Konoskop einen Limbus mit drehbarer Axe anbringen und dadurch die Messung des Axenwinkels ermöglichen. In dem Apparat von G. Adams und E. Schneider sind die beiden halbkugelligen Linsen samt Mineralplatte drehbar. Man erhält hier den Axenwinkel in Glas. Der Apparat gestattet die Messung sehr stumpfer Axenwinkel und ist für die erste Orientierung sehr brauchbar. (Becke in Tschermaks Mineral. u. petr. Mitt., Bd. 2, S. 430.) Eine annähernde Bestimmung des Axenwinkels gelingt in jedem Konoskop einfach dadurch, daß eine in Glas geätzte Skala an geeigneter Stelle eingelegt wird. Der Abstand des Axenbildes von der Mitte des Gesichtsfeldes d ist nach Abbe proportional dem Sinus des Winkels E , also $d \cdot k = \sin E$. Der Proportionalitätsfaktor k wird empirisch bestimmt, indem $2E$ einer Platte am Axenwinkelapparat gemessen wird und dann an der Skala das zugehörige $2d$ abgelesen wird.

totale Reflexion an der Grenze von Mineral und Luft aufhebt. Fig. 453. Die hier beobachteten Winkel werden mit H_a und H_o bezeichnet.

Um in sehr kleinen Mineralblättchen den Axenwinkel bestimmen zu können, wird auf den Tisch des Mikroskopes, Fig. 440 auf S. 230, nachdem der Kondensator eingeschoben worden, ein kleiner Apparat aufgestellt, welcher aus einer horizontalen drehbaren Axe besteht, an welcher das Blättchen befestigt wird, ferner aus einem geteilten Halbkreis, welcher vertikal zu dem Tische des Instrumentes zu stehen kommt.

Fig. 451.

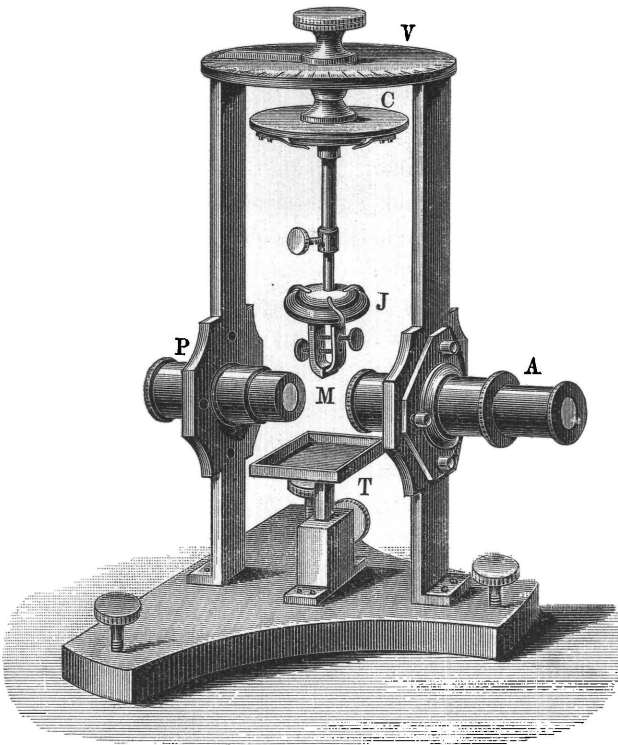


Fig. 452.

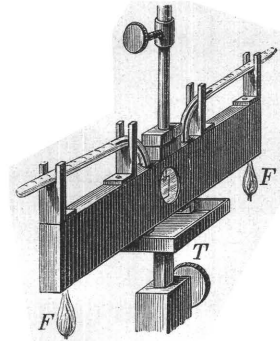
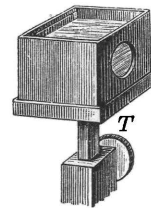


Fig. 453.



In der Richtung der optischen Axen herrscht einfache Brechung. Der zugehörige Brechungsquotient wird β genannt. Man kann den wahren Winkel der optischen Axen aus dem scheinbaren berechnen, wofern man die Formel:

$$\sin V_a = \frac{1}{\beta} \sin E_a$$

benutzt. Ist der scheinbare Winkel in Öl gemessen worden, dessen Brechungsquotient n , so kann man nach der Formel:

$$\sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a$$

rechnen.

An zwei Platten, die aus demselben Krystallindividuum geschnitten sind, kann man öfter sowohl H_a als auch H_o bestimmen und aus diesen Werten, ohne β zu kennen, den wahren Winkel der optischen Axen berechnen, da:

$$\text{tang } V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$$

Der Winkel der optischen Axen hat bei jeder optisch zweiaxigen Mineralart eine bestimmte Größe, die meist nur geringen Schwankungen unterliegt. Dieser Winkel ist daher für die meisten einfachen Mineralarten ein brauchbares Kennzeichen. Wenn aber mehrere Mineralarten in isomorpher Schichtung auftreten, so hat jede andersgeartete Schichte auch einen anderen Axenwinkel. Eine isomorphe Mischung hingegen zeigt einen Axenwinkel, dessen Größe von der Art und Menge der gemischten Minerale abhängt. Derlei Krystalle haben also keinen bestimmten Axenwinkel, sondern die Größe desselben ist schwankend.

Sénarmont hat in dieser Richtung Versuche angestellt, von welchen jene am wichtigsten sind, welche er an isomorphen Mischungen von weinsaurem Natronkali und von weinsaurem Natronammoniak, welche auch Seignettesalze genannt werden, ausführte. Die beiden einfachen Salze haben ungefähr gleichen Axenwinkel und $\rho > \nu$, jedoch liegen die Axenebenen in dem einen und in dem anderen Salze senkrecht zueinander. Die Mischkrystalle zeigen nun bei steigendem Gehalte an dem Ammonsalze immer kleinere Axenwinkel, bis bei einem bestimmten Gehalte der Axenwinkel für Rot, dann jener für Violett gleich Null wird und hierauf die Axen in der zur vorigen senkrechten Ebene wieder auseinandergehen.

Wie bei diesem Versuche durch Mischung, so kann bei dem zuerst von Reusch angegebenen Versuche durch Aufsichtung von zweiaxigen Blättchen der Axenwinkel geändert werden. Wenn viele gleiche, außerordentlich dünne Blättchen von dem negativ optisch zweiaxigen Muscovit (Kaliglimmer) abwechselnd in gekreuzter Stellung übereinander geschichtet werden, wonach die Ebenen der optischen Axen in den aufeinanderfolgenden Blättchen immer um 90° verschieden orientiert sind, so zeigt ein solches System von Blättchen im Konoskop die Erscheinung einer negativ optisch einaxigen Platte.

Sénarmont, Pogg. Ann., Bd. 86, S. 35 und 70. Reusch, ebenda, Bd. 148., S. 628.

Die Dispensionserscheinungen an den Axenbildern haben schon erkennen lassen, daß der Axenwinkel für verschiedene Farben nicht genau dieselbe Größe habe; daher ist bei genaueren Bestimmungen der Axenwinkel für jede einzelne Farbe zu ermitteln. In diesem Falle verwendet man für die Beobachtung solche Vorrichtungen, welche möglichst monochromatisches Licht in den Apparat senden. Gewöhnliches Licht durch gefärbte Gläser gehen zu lassen, ist nur für wenige Glassorten zu empfehlen. Das Kupferoxydulglas gibt fast monochromatisches Rot, das grüne Glas ist schon weniger geeignet, die blauen Gläser noch weniger, die gelben gar nicht. Dagegen erhält man vollständig oder nahezu vollständig monochromatisches Licht durch gefärbte Flammen. Die Flamme des Bunsenschen Gasbrenners, mit Lithiumsalz gefärbt, liefert ziemlich reines Rot, mit Natriumsalz,

z. B. Kochsalz, oder besser mit Bromnatrium gefärbt, monochromatisches Gelb, mit Thalliumsalz gefärbt, monochromatisches Grün. Durch Verbindung des Axenwinkelapparates mit einem Spektroskop (Monochromator) werden genaue Messungen für bestimmte Wellenlängen erzielt.

Die auf solche Weise beobachteten Axenwinkel geben die Dispersion der optischen Axen zahlenmäßig an und kontrollieren die vorhin geschilderten Wahrnehmungen an der Farbenverteilung im Axenbilde.

Wülfing, Jahrb. f. Min. Beil., Bd. 12, S. 343, S. 405.

124. Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung. An den Interferenzbildern läßt sich durch das schon früher beschriebene Verfahren der Einschaltung von Hilfsplatten, auf denen die Schwingungsrichtung der rascheren Welle (α) bezeichnet ist, der Charakter der Doppelbrechung bestimmen.

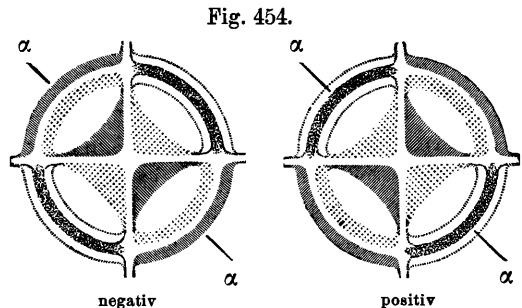
Ist das zu prüfende Mineral optisch einaxig, so wird die zur optischen Axe senkrecht geschnittene Platte in das Konoskop eingelegt und die Interferenzfigur *B* auf Taf. I erzeugt. Hierauf wird an irgend einer passenden Stelle, zwischen den gekreuzten Nicols, das doppelbrechende Blättchen in der Diagonalstellung eingeschaltet, so, daß die α -Richtung desselben sich in Regelstellung von links oben nach rechts unten befindet.

An dem Mikroskop Fig. 426 S. 215 dient dazu der horizontale Schlitz in der Nähe der Brennpflache des Objektivs, in welchen das in einer Fassung befindliche Blättchen *v* eingeschoben wird. Im Konoskop Fig. 439 S. 230 bringt man das Hilfsblättchen in den Zwischenraum unter dem Analysator.

Die vom Hilfsblättchen hervorgerufene, überall gleiche Verzögerung kombiniert sich mit den im Interferenzbild vorhandenen Gangunterschieden. Bei einem optisch negativen Krystall ist nun die Orientierung der Schwingungsrichtung der rascheren Welle in der ganzen Interferenzfigur radial gegen den Mittelpunkt gerichtet, wie es der Mittelteil der Fig. 431 S. 220 erkennen läßt. In den Quadranten links oben und rechts unten befindet sich somit Interferenzbild und Hilfsblättchen in Additionsstellung [118], hier wird ein Steigen der Interferenzfarbe beobachtet werden; in den beiden anderen Quadranten tritt Kompensation ein, die Interferenzfarben sinken. Bei einem optisch positiven Interferenzbild ist die Verteilung umgekehrt.

Geeignete Hilfsblättchen sind Spaltblättchen von Gyps, die das empfindliche Purpur erster Ordnung zeigen. Der schwache Gangunterschied, der in den Winkeln des

schwarzen Kreuzes ein schwaches Grau veranlaßt, bewirkt bei der Kombination mit dem Gypsblättchen vom Rot erster Ordnung in der Addition Blau, in der Kompensation Gelb. Das schwarze Kreuz des Interferenzbildes läßt das unveränderte Rot des Gypsblättchens erkennen. Fig. 454 zeigt rechts die Farbenverteilung in



einem optisch positiven, links die in einem negativen Interferenzbild; gelb ist durch Punktierung, blau durch Schraffierung angedeutet.

Wenn die Platte ziemlich dick oder die Doppelbrechung sehr stark ist, sind die Farbenringe sehr eng, und Farbenänderungen schwer zu erfassen. Man verwendet dann ein dünnes Glimmerblättchen, welches für sich eine Verzögerung von einer Viertelwellenlänge der mittleren Lichtsorten bewirkt und zwischen gekreuzten Nicols die Interferenzfarbe bläulichgrau erster Ordnung gibt (Viertelundulations-Glimmerblättchen).

In einem solchen Blättchen entspricht die Ebene der optischen Axen der Schwingungsrichtung γ ; sie ist oft mit einem Pfeil bezeichnet; senkrecht dazu ist die Schwingungsrichtung der rascheren Welle.

Schaltet man das Glimmerblättchen ein, so tritt bei einem negativen Interferenzbild in den Quadranten rechts oben und links unten Kompensation ein und diese führt zu zwei dunkelgrauen Punkten in den Winkeln des Interferenzkreuzes, an denen der Gangunterschied $\frac{1}{4} \lambda$ vorhanden war. Außerdem erscheint jeder farbige Ring ein wenig nach außen verschoben, weil an jedem Punkt des Interferenzbildes jetzt eine Interferenzfarbe auftritt, welche einem um $\frac{1}{4} \lambda$ kleineren Gangunterschied entspricht, also vor Einschaltung des $\frac{1}{4} \lambda$ -Glimmerblättchens näher dem Axenpunkt sichtbar war. Aus einem ähnlichen Grund erscheinen die Ringe in den anderen Quadranten etwas verengert. Fig. 455 zeigt links wieder das veränderte Interferenzbild eines optisch negativen, rechts das eines optisch positiven einaxigen Krystalls.

Fig. 455.

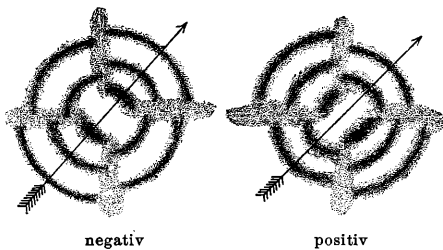


Fig. 455 zeigt links wieder das veränderte Interferenzbild eines optisch negativen, rechts das eines optisch positiven einaxigen Krystalls.

Sowohl bei engen als weiten Ringen führt die Anwendung einer keilförmigen Hilfsplatte zur Erkennung des Charakters der Doppelbrechung. Schiebt man den Keil, dessen Schneide der Schwingungsrichtung γ , dessen Längsrichtung α entspricht, in Regelstellung (α von links oben nach rechts unten) so in den Apparat ein, daß immer dickere Schichten des Keils eingeschaltet werden, so sieht man die Ringe des Interferenzbildes wandern, und zwar in den Quadranten, in welchen sich die Gangunterschiede addieren, gegen den Axenpunkt (die Ringe verengern sich), in den Quadranten mit Kompensation vom Axenpunkt weg (die Ringe erweitern sich). Bei einem optisch negativen Interferenzbild tritt das Verengern der Ringe in den Quadranten links oben, rechts unten ein. Bei einem optisch positiven in den Quadranten rechts oben, links unten. Vgl. Fig. 456.

Alle diese Methoden lassen sich auch auf die optisch zweiaxigen Krystalle anwenden. In der Regel wird man die Interferenzbilder von Platten prüfen, welche senkrecht zur ersten Mittellinie geschnitten sind. Man erzeugt das Interferenzbild in der Normalstellung und schaltet die Gypsplatte mit Rot erster Ordnung oder die $\frac{1}{4} \lambda$ -Glimmerplatte in Regelstellung ein. Wie die Fig. 432 S. 220 lehrt, sind dann bei einem negativen Krystall die Quadranten des Bildes links oben und rechts unten in Additionsstellung, die Quadranten rechts oben, links unten in

Kompensationsstellung. Die Stellen mit schwachen Gangunterschieden befinden sich innerhalb der innersten, den Axenpol umgebenden Ringes. Dort erscheinen mit dem Gypsblättchen die blauen Flecken in den Quadranten links oben und rechts unten, die dunklen Flecken mit dem $\frac{1}{4}$ λ -Glimmerblättchen rechts oben und links unten. Beim optisch positiven Krystall erscheint alles umgekehrt. Vgl. Fig. 457, wo die γ -Richtung des Hilfsblättchens, d. i. die Ebene der optischen Axen durch den Pfeil angedeutet ist.

Fig. 456.

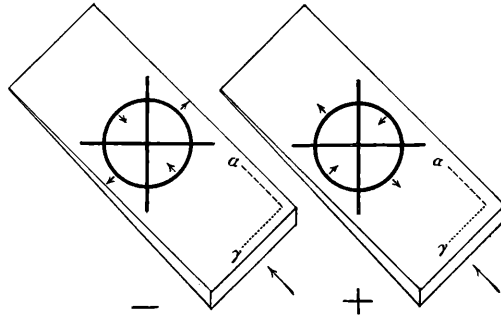


Fig. 457.

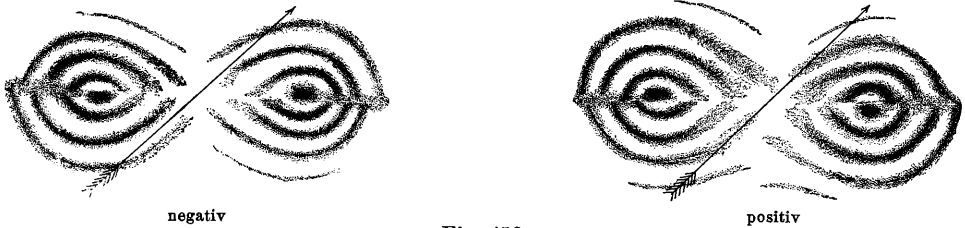
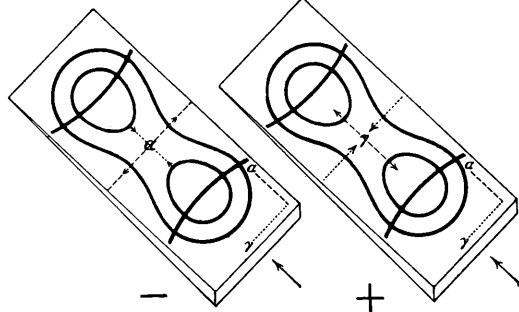


Fig. 458.



Das Verengern und Erweitern der Ringe bei Einschieben eines Keils in Regelstellung ist besonders in der Diagonalstellung gut zu beobachten. Im hellen Mittelteil des Interferenzbildes liegen bei einem optisch negativen Krystall die γ -Richtungen parallel der optischen Axenebene, die α -Richtungen quer. (Vgl. Fig. 458, welche die α -Richtungen gestrichelt, die γ -Richtungen punktiert angibt.) Schiebt man den Keil in Regelstellung ein, so ergibt sich, daß Keil und Mittelteil des Interferenzbildes sich in Kompensationsstellung befinden, weshalb die Ringe beim

Verschieben des Keils von den Axenpunkten gegen die Mitte und von der Mitte nach außen wandern. In Fig. 458 gibt der größere Pfeil die Verschiebungsrichtung des Keils und die kleinen Pfeile das Wandern der Ringe links bei einem negativen Axenbild an; rechts ist das entsprechende Schema für eine optisch positive Platte, senkrecht zur Mittellinie γ dargestellt. Zur Kontrolle wird der Versuch durch Einschieben des Keils in der zur Ebene der optischen Axen senkrechten Richtung vorgenommen, wobei sich das entgegengesetzte Resultat ergibt.

Zuweilen läßt sich die Prüfung eines Mineralen sowohl im spitzen wie im stumpfen Axenwinkel anstellen. In dem ersteren zeigt sich immer ein anderes Verhalten als im zweiten, gibt der eine das Resultat positiv, so gibt der andere das Resultat negativ. Wenn man aber im allgemeinen von positiv oder von negativ spricht, so bezieht sich dies immer auf den spitzen Axenwinkel.

125. Die Beobachtung im Konoskope an optisch zweiaxigen Platten gibt anfänglich nur die Lage der ersten Mittellinie I und die Ebene der optischen Axen an und es folgt daraus die Lage der zweiten Mittellinie II und der Normalen. Wird nun der geprüfte Krystall so gestellt gedacht, daß die erste Mittellinie aufrecht erscheint, die zweite auch in die Ebene der Zeichnung gelegt wird, so führt dies auf ein Schema wie in Fig. 459, in welchem die Normale zu einem Punkte verkürzt erscheint. Sobald aber der Charakter der Doppelbrechung bestimmt worden ist, ergibt sich die Bewertung der beiden Mittellinien. Ist der geprüfte Krystall optisch positiv, so entspricht die erste Mittellinie der Schwingungsrichtung γ , ist er optisch negativ, so entspricht die erste Mittellinie der Richtung α . Fig. 460.

Fig. 459.

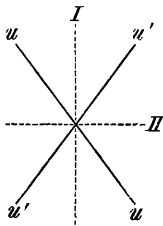
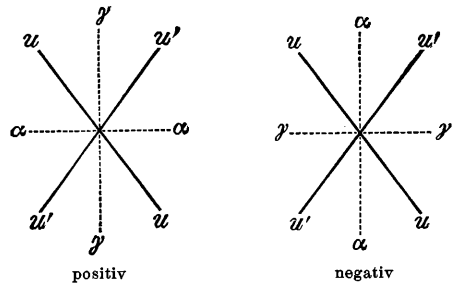


Fig. 460.



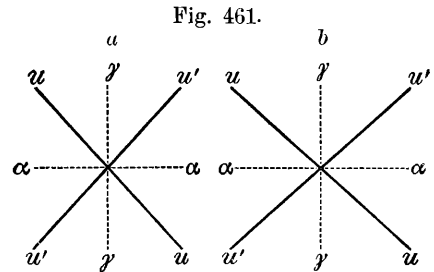
Ebenso leitet die Prüfung einer optisch einaxigen Platte sogleich zur Bewertung der Schwingungsrichtung nach der Hauptaxe, die für optisch positive γ , für optisch negative α ist.

Der Charakter der Doppelbrechung ist ein wertvolles Kennzeichen, mittels dessen Minerale, die in vielen physikalischen Eigenschaften übereinstimmen, leicht unterschieden werden können. Jedes einfache Mineral, das keine Mischung darstellt, gibt bei der Prüfung immer dasselbe Resultat, ob es von diesem oder jenem Fundort genommen wurde. Alle Barytkrystalle, mögen sie wo immer herkommen, sind optisch positiv sowie jeder Kalkspatkrystall optisch negativ ist. Auch viele

derjenigen Minerale, welche isomorphe Mischungen sind, zeigen sich ebenso beständig. So verhalten sich alle Glimmer optisch negativ.

Andererseits aber gibt es Mineralgattungen, die isomorphe Mischungen sind und die beiden Charaktere vereinigen. Ein Beispiel ist der Bronzit (rhombisch). Alle Bronzitkrystalle weisen die gleiche Orientierung der Hauptschwingungsrichtungen bei gleicher Bewertung auf, jedoch variiert der Winkel der optischen Axen. Fig. 461. Nach der Größe des letzteren können die Bronzite in eine Reihe gebracht werden, in welcher dieser anfangs

spitze Winkel um die Richtung γ immer größer, sodann 90° , endlich ein stumpfer wird. Die ersteren Glieder der Reihe sind optisch positiv. Aus diesen Krystallen muß eine Platte senkrecht zu γ geschnitten werden, welche im Konoskope die Axenbilder liefert. Die letzteren Glieder sind optisch negativ. Aus diesen muß die Platte, welche die Axenbilder gibt, senkrecht zu α geschnitten sein. Das Glied mit dem Axenwinkel von 90° bildet die Grenze zwischen den optisch positiven und negativen Bronziten.



Das Glied mit dem Axenwinkel von 90° bildet die Grenze zwischen den optisch positiven und negativen Bronziten.

In manchen Mineralen, welche isomorphe Mischungen darstellen, sind die Werte der Hauptbrechungsquotienten sehr wenig verschieden, daher ist die Doppelbrechung schwach. Von solchen erscheinen bisweilen die einen Krystalle positiv, die anderen negativ nach dem in Fig. 460 gegebenen Schema, indem die einander sehr nahestehenden Werte von α und γ vertauscht erscheinen, gewisse Mittglieder erscheinen dann, allerdings immer nur für einen gewissen Spektralbereich, isotrop. Dieser Fall wird an manchen Chloriten beobachtet. Bei schwacher Doppelbrechung kann außerdem auch der Fall eintreten, daß derselbe Krystall für Farben, die dem einen Ende des Spektrums näher liegen, z. B. für Rot optisch positiv, für Farben, die dem anderen Ende näher liegen, z. B. für Blau und Violett optisch negativ ist. Dann ergeben sich im Konoskope ganz ungewöhnliche Erscheinungen, wie solche an Krystallen von Apophyllit, von Melilith beobachtet werden.

126. Pleochroismus. Die doppeltbrechenden Krystallindividuen zeigen, wenn sie farbig oder gefärbt sind, im durchfallenden Lichte nach verschiedenen Richtungen nicht immer dieselbe, sondern häufig verschiedene Farben. Ist die Erscheinung deutlich, so geben optisch einaxige Minerale in allen Richtungen senkrecht zur Hauptaxe dieselbe, parallel zur Hauptaxe aber eine andere Farbe: Dichroismus. Optisch zweiaxige Minerale geben beim Durchsehen in drei aufeinander senkrechten Richtungen drei verschiedene Farben: Trichroismus. Unter den Krystallen von Beryll (hexagonal) finden sich manche grüne Exemplare, welche beim Durchsehen parallel zur Hauptaxe eine blaue, in allen Richtungen senkrecht zur Hauptaxe aber eine grüne Farbe liefern. Der Cordierit von Bodenmais (rhombisch) liefert oft Krystalle, welche dunkelblau erscheinen. Wird aus einem derselben ein Würfel geschnitten, dessen Flächen den kristallographischen Endflächen parallel sind, so

gibt derselbe beim Durchsehen durch die Querflächen (100) eine blaugraue, durch die Längsflächen (010) eine gelbe und durch die Endflächen (001) eine indigoblaue Farbe. Blickt man durch den Beryll oder Cordierit nicht in den vorgeannten Richtungen, sondern in einer Zwischenrichtung, so beobachtet man die entsprechenden Übergangs- oder Mischfarben. Jene Farben, welche man beim Durchsehen durch die bestimmten Flächen mit freiem Auge wahrnimmt, nannte Haidinger Flächenfarben.

Die Erscheinungen im gewöhnlichen Lichte zeigen schon, daß in den kristallographisch verschiedenen Richtungen eine verschiedene Absorption herrscht, denn die Farben kommen hier durch Absorption zustande [96]. Demnach ist vorauszusehen, daß bei Anwendung von polarisiertem Lichte für verschiedene Schwingungsrichtungen auch verschiedenartige Absorptionen eintreten, also ver-

Fig. 462.

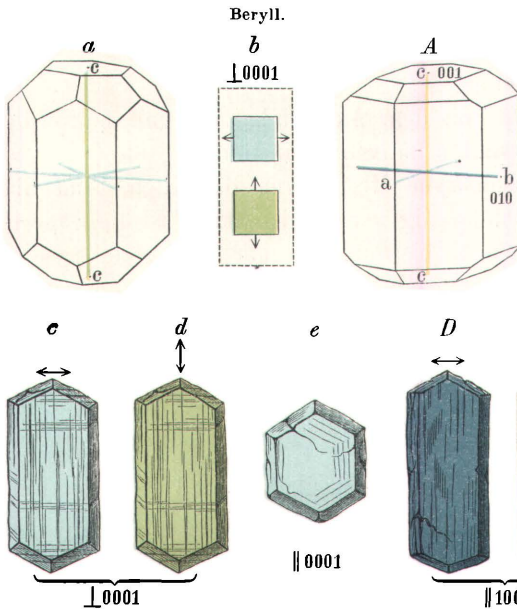
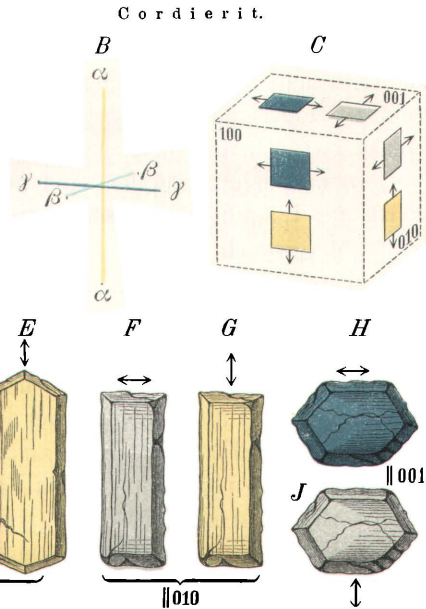


Fig. 463.



schiedene Farben zur Erscheinung kommen werden. In der Tat ergeben die Versuche mit einem Nicol, daß in jenem Beryll die Schwingungen parallel zur Hauptaxe Grün, die zur Hauptaxe senkrechten aber Blau liefern, wie dies Fig. 462 a schematisch angibt. Man kann die Farben für bestimmte Schwingungsrichtungen ermitteln, wenn man von dem Orthoskop den oberen Nicol (Analysator) entfernt und die zu prüfende Mineralplatte auf den Tisch des Instrumentes bringt. Die Untersuchung wird also bloß mit einem Nicol ausgeführt. Nimmt man von jenem Beryll eine zur Hauptaxe parallel geschnittene Platte, so erscheint dieselbe blau, wenn der Hauptschnitt des Nicols, also die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes zur Hauptaxe des Berylls senkrecht ist, und grün, wenn der Nicolhauptschnitt zur Hauptaxe parallel ist. Fig. 462 c und d.

Anders ist die Erscheinung, wenn man eine senkrecht zur Hauptaxe geschnittene Platte in das Instrument bringt. Nun kann man den Nicol, also den Nicolhauptschnitt, beliebig drehen, die erhaltene Farbe bleibt immer Blau, Fig. *e*. Alle zur Hauptaxe senkrechten Richtungen verhalten sich also bezüglich der Absorption gleich.

Prüft man Platten des genannten Cordierits in derselben Weise, so erhält man für jede der drei Platten, welche parallel zu den Endflächen geschnitten wurden, je zwei Farben. Ein Blick auf die Fig. 463 *A*, welche einen Krystall von Cordierit vorstellt und angibt, welche Farben den drei Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, macht dies leicht verständlich. Die Platte

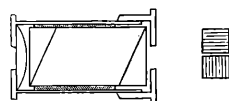
$\parallel(100)$ gibt für Schwingungen $\parallel b$ Dunkelblau $\parallel c$ Blaußgelb, Fig. *D, E*,
 $\parallel(010)$ " " " $\parallel a$ Graublau $\parallel c$ Blaußgelb, " *F, G*,
 $\parallel(001)$ " " " $\parallel a$ Graublau, $\parallel b$ Dunkelblau " *H, J*.

Man reicht bei der Prüfung des Pleochroismus mit zwei Platten aus, weil diese schon sämtliche drei Farben liefern. Haidinger hat jene Farben, welche den Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, Axenfarben genannt. Die Flächenfarben sind aus den Axenfarben zusammengesetzt.

Die beiden Farben, welche von derselben Platte geliefert werden, kann man auch nebeneinander erhalten, wenn man statt des Nicols ein Spaltungsstück von Kalkspat benutzt, welches zwei Lichtbündel, deren Schwingungen gegeneinander senkrecht sind, liefert. Jetzt hat man die Farben, welche der einen und der anderen Schwingungsrichtung entsprechen, gleichzeitig vor sich. Haidinger brachte dies in dem einfachen Instrumente, welches Dichroskop genannt wird, zur Anwendung. Dieses besteht aus einem länglichen Spaltungsstück von Kalkspat, welches in einer Röhre enthalten ist. Letztere hat an dem einen Ende eine quadratische Öffnung und an dem zweiten Ende, welches gegen das Auge gewendet wird, eine runde Öffnung mit einer schwachen Linse. Beim Durchsehen erscheint die quadratische Öffnung doppelt. Fig. 464. Nach der Verbesserung, welche v. Lang angab, ist das Stück mit der quadratischen Öffnung drehbar, so daß die daran befestigte Mineralplatte in jede Lage zu den Schwingungsrichtungen des Kalkspates gebracht werden kann.

Vor der Anwendung des Dichroskops bestimmt man die Schwingungsrichtungen der beiden quadratischen Lichtbilder am raschesten durch Visieren auf eine glänzende horizontale Fläche, z. B. eine Tischfläche. Stellt man das Dichroskop so, daß die Lichtbilder wie in Fig. 464 angeordnet sind, so ist das Bild, welches bei diesem Versuche heller erscheint, aus ordentlichen und horizontal schwingenden Strahlen zusammengesetzt. Schiebt man hierauf die Mineralplatte vor die quadratische Öffnung, so wird das Licht, welches durch die Platte gegangen ist, im Kalkspat analysiert, es wird in zweierlei Schwingungen zerlegt, welche zueinander senkrecht sind. Man dreht die Mineralplatte bis zu jener Stellung, bei welcher die erhaltenen Farben den größten Unterschied zeigen. Die zur Hauptaxe parallele Beryllplatte gibt jetzt Blau und Grün. Fig. 462 *b*. Die zur Hauptaxe senkrecht geschnittene Beryllplatte liefert

Fig. 464.

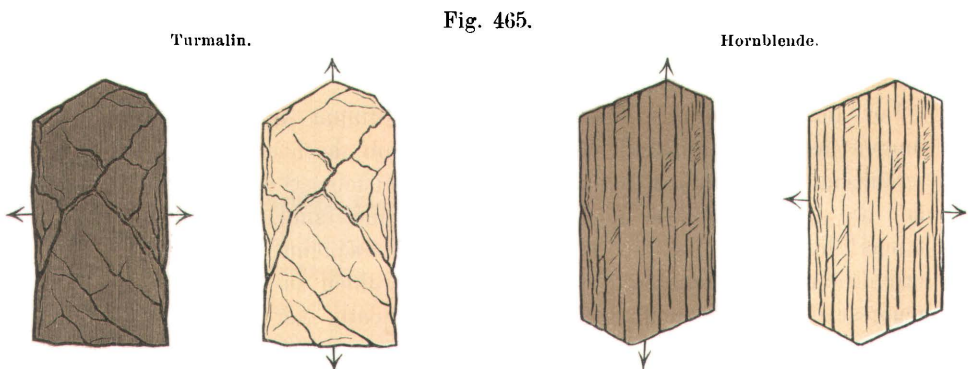


zwei gleiche blaue Bilder. Der Würfel von Cordierit, dessen Flächen den drei Endflächen parallel sind, liefert die in Fig. 463 *C* angegebenen Farbenbilder.

Bei der Prüfung jener Farben, welche den Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, mit dem Glasprisma zeigt sich nach H. Bequerel, daß in deutlichen Fällen die optisch einaxigen Minerale zwei, die optisch zweiaxigen drei verschiedene Absorptionsspektren zeigen, wodurch die Ausdrücke Dichroismus und Trichroismus gerechtfertigt erscheinen.

Jene zwei oder drei Farben können, obwohl sie verschieden sind, doch ungefähr gleiche Helligkeit zeigen, die Absorption für die verschiedenen Schwingungsrichtungen kann von verschiedener Art und doch von ungefähr gleicher Stärke sein. Häufig ist aber der Grad der Absorption merklich oder bedeutend verschieden, wie schon das Beispiel der dunkelfarbigem Turmaline zeigte [105]. In dünnen Platten derselben wird der zur Hauptaxe senkrecht schwingende, der ordentliche Strahl, viel stärker absorbiert als der außerordentliche, in etwas dickeren Platten wird er ganz vernichtet. Man kann also für den Turmalin als Schema der Absorption $\omega > \varepsilon$ schreiben. Für den Cordierit, dessen Hauptschwingungsrichtungen in Fig. 463 *B* bezeichnet sind, kann man das Farbenschema: α Gelb, β Graublau, γ Dunkelblau, und weil die Farbentöne merklich verschieden sind, für die Stärke der Absorption das Schema $\gamma > \beta > \alpha$ schreiben.

Das Maximum oder das Minimum der Absorption trifft in den optisch einaxigen Körpern mit der Hauptaxe, in den rhombischen mit je einer Hauptschwingungsrichtung zusammen. Die Absorptionsachsen haben hier dieselbe Lage wie die Hauptschwingungsrichtungen. In monoklinen Krystallen zeigt sich öfter dieselbe Übereinstimmung, doch fanden Laspeyres und Ramsay in zwei Arten von Epidot zwischen den Absorptionsachsen der Symmetrieebene und den Elastizitätsachsen daselbst eine merkliche Abweichung und dasselbe beobachtete Backlund an gewissen Arten von Augit. In triklinen Krystallen würde die Abweichung an allen drei Hauptschwingungsrichtungen stattfinden können.



Bei mikroskopischen Untersuchungen kann man den Pleochroismus in der Weise prüfen, daß man auf das Okular ein Dichroskop stellt; es empfiehlt sich jedoch, anstatt dessen so vorzugehen, wie es vorher angegeben wurde, und in der Art zu beobachten, daß man einen einzigen Nicol, und zwar denjenigen,

welcher unter dem Tisch des Mikroskopes angebracht ist, dreht, oder auch so, daß man bei ruhendem Nicol den Tisch dreht, auf welchem die Mineralplatte liegt. Nach dieser Methode, welche von Tschermak vorgeschlagen wurde, beobachtet man dieselben Farbentöne nacheinander, welche das Dichroskop nebeneinander zeigt. In der Fig. 465 sind die Farbenercheinungen angegeben, welche bei solcher Beobachtung an zwei Beispielen, und zwar an manchen Krystallen von Turmalin und von Hornblende, welche in einem Dünnschliffe enthalten sind, wahrgenommen werden. Die Stellung des Nicolhauptschnittes ist jedem Bilde beigefügt.

Die bei allen diesen Versuchen erhaltenen Farben zeigen verschiedene Grade der Sättigung, je nach der Dicke der geprüften Platte. In dünnen Blättchen ist daher der Pleochroismus oft undeutlich.

In den allochromatischen Mineralen rührt der Pleochroismus von der regelmäßigen Einfügung idiochromatischer Partikelchen her, doch gelingt es selten, eine solche Beimischung künstlich zu erzeugen. Sénarmont vermochte Krystalle von salpetersaurem Strontian durch beigemischtes Pigment aus Fernambukholz pleochroitisch zu machen.

Über d. Pleochroismus: Haidinger in Pogg. Ann., Bd. 65, S. 1, und Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 13, S. 3 und 306; Sénarmont, Pogg. Ann., Bd. 91, S. 491; Tschermak in d. Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 59, Mai; Lang, ebendas., Bd. 82, S. 174; Laspeyres, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 4., S. 444; Pulfrich, ebenda, Bd. 6, S. 142; Ramsay, ebenda, Bd. 13, S. 97; Backlund, Min. petr. Mitt., Bd. 26, S. 364; Voigt, Jahrb. f. Min., 1885, I, S. 117; Mallard, Bull. soc. min., Bd. 6, S. 45; H. Bequerel, ebenda, Bd. 10, S. 120 und Comptes rendus, Bd. 108, S. 282; Königsberger, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. 22, S. 88. (1902).

127. Zu den Erscheinungen, bei welchen die orientierte Absorption im Spiele ist, gehören auch die dunkeln Büschel und Ringe, welche manche Krystalle im durchfallenden Lichte mit freiem Auge wahrnehmen lassen und welche an die Richtungen der optischen Axen gebunden sind. Man kann dieselben idiophane Axenbilder nennen.¹⁾ Sonst werden auch die Ausdrücke Absorptionsbüschel, Polarisationsbüschel gebraucht. Man beobachtet die dunkeln Büschel an manchen Platten von Kaliglimmer (Muscovit) oder von Epidot, Andalusit, Cordierit, und zwar in den Richtungen der optischen Axen. Sie haben die Lage der dunkeln Hyperbelen, welche im Konoskop in der Diagonalstellung erhalten werden, und auch so ziemlich deren Gestalt, jedoch erscheinen sie viel breiter und sind an den Axenpunkten unterbrochen. An einem einaxigen Körper, dem Magnesiumplatinocyanür (tetragonal), wurde von Bertrand in der Richtung der Hauptaxe eine andere Erscheinung, nämlich ein kreisrunder, violetter Fleck auf rotem Grunde beobachtet. Der Turmalin zeigt den Fleck nur undeutlich. So läßt sich also an manchen Krystallen schon mit freiem Auge die Lage der optischen Axen erkennen. Alle

¹⁾ Diese Erscheinung wird öfter mit den zuerst von Brewster beschriebenen epoptischen Figuren zusammengeworfen, welche mit freiem Auge am Calcit, Aragonit etc. beobachtet werden, wenn durch den Reflex an eingeschalteten Zwillinglamellen farbige Axenbilder entstehen. (Müller, Pogg. Ann., Bd. 41, S. 110.)

diese Krystalle haben eine ziemlich starke Färbung, daher die teilweise Absorption des durchgehenden Lichtes hier die Hauptursache ist.

Lit. Haidinger, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 13, S. 316; Bertin, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 3, S. 449; Bertrand, ebendas., S. 645; Mallard, ebendas., S. 646; Liebisch, ebendas., Bd. 19, S. 489; Becke, Min. petr. Mitt., Bd. 28, S. 474.

128. Rotationspolarisation. Manche Krystalle haben die Eigenschaft, die Polarisationssebene des Lichtes zu drehen. Diese wurde von Arago am Quarz, von Descloizeaux am Zinnober nachgewiesen. Da die Krystalle beider dem trigonalen Systeme angehören, so wäre das Verhalten optisch einaxiger Körper zu erwarten. Nimmt man jedoch eine zur Hauptaxe senkrechte Quarzplatte und betrachtet dieselbe im Orthoskop zwischen gekreuzten Nicols, so erscheint sie nicht dunkel, sondern hell. Benutzt man einfarbiges Licht, z. B. Natriumlicht, so zeigt sich ebenfalls Helligkeit, dreht man aber jetzt allmählich den oberen Nicol, so tritt nach einer Drehung um 22° Dunkelheit ein, wofern die Platte 1 *mm* dick ist. Nimmt man von demselben Quarzkrystall eine doppelt so dicke Platte wie vorhin, so tritt erst nach der Drehung um 44° Dunkelheit ein. Daraus ist zu ersehen, daß die Polarisationssebene des Lichtstrahles, welcher sich parallel der Hauptaxe bewegt, im Quarz gedreht wird, und zwar, wie Biot erkannte, proportional der Dicke der Quarzschichte. Für jede Spektralfarbe ist aber der Betrag der Drehung ein anderer, für rotes Licht kleiner als für violettes. J. Herschel zeigte, daß der Sinn der Drehung mit der Form der Krystalle zusammenhängt. Platten aus Rechtskrystallen (S. 73, Fig. 154) drehen rechts, der obere Nicol muß im Sinne des Uhrzeigers gedreht werden, um Auslöschung herbeizuführen, Platten von Linkskrystallen (S. 73, Fig. 153) drehen in gleichem Grade links. Das Verhalten ist derart, als ob die Polarisationssebene im Quarz schraubenartig gewunden wäre.

Nach der von Fresnel gegebenen Erklärung leitet sich diese Drehung davon ab, daß jeder in die Quarzplatte parallel der Hauptaxe eintretende Strahl in zwei Strahlen von kreisförmiger und entgegengesetzter Schwingung zerfällt. Der ordentliche und der außerordentliche Strahl zeigen in der Nachbarschaft der Hauptaxe Zirkularpolarisation. Da den beiden, wie v. Lang fand, in der Richtung der Hauptaxe nicht derselbe Brechungsquotient zukommt, so besitzen dieselben auch hier ungleiche Geschwindigkeiten und ihre Schwingungen setzen sich nach dem Austritt aus dem Krystall zu einer geradlinigen zusammen, welche nicht mehr die ursprüngliche, sondern eine davon abweichende Richtung befolgt. Das ungewöhnliche Verhalten gilt auch für Strahlen, die von der Richtung der Hauptaxe etwas abweichen, bis zu solchen, die mit derselben 15° einschließen. Außerhalb dieses Feldes wird die genannte Eigentümlichkeit unmerklich und für alle übrigen Richtungen zeigt der Quarz das normale Verhalten optisch einaxiger Krystalle von positiver Doppelbrechung.

Wird im Tageslichte beobachtet und wird eine senkrecht zur Hauptaxe geschnittene Quarzplatte von 1 *mm* Dicke in das Konoskop gebracht, so erzeugt sie eine Interferenzfigur, wie Fig. *H* auf Taf. I. Dieselbe gleicht jener der normalen optisch einaxigen Krystalle, doch ist das Kreuz in der Mitte blasser. In dickeren

Platten verschwindet das Kreuz in der Mitte des Feldes immer mehr, und von 4 mm Dicke an wird der innere Teil der Figur von einer farbigen Scheibe gebildet, Fig. *J* auf Taf. I; die Farben aber sind, je nach der Dicke der Platte, verschieden.

Dreht man jetzt den oberen Nicol (Analysator) nach rechts, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes und beginnen die Ringe zu wandern. Ist die Platte rechtsdrehend, so verändert sich die Farbe in dem Sinne von Gelb durch Blau, Violett zu Rot und die Ringe erweitern sich, ist aber die Platte linksdrehend, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes bei der gleichen Drehung in dem Sinne von Gelb durch Rot, Violett zu Blau und die Ringe verengen sich.

Legt man eine linksdrehende und eine rechtsdrehende Platte von gleicher Dicke übereinander und schiebt diese Kombination in das Konoskop, so erscheinen die sogenannten Airyschen Spiralen.

Quarz- und Zinnober gehören der III. Stufe des trigonalen Systemes an. Man kennt auch Krystalle von Laboratoriumsprodukten aus derselben Abteilung des trigonalen Systemes, welche die Erscheinungen der Rotationspolarisation zeigen, ebenso künstliche Krystalle der III. Stufe des tetragonalen und des hexagonalen Systemes. Im tesseralen Systeme wurden an Krystallen der III. Stufe bisher keine solchen Erscheinungen beobachtet, wohl aber an künstlichen Krystallen der I. Stufe, die zwischen gekreuzten Nicols Aufhellung, ferner Drehung der Polarisationsebene erkennen lassen. Im ganzen hat sich gezeigt, daß unter den Krystallen der I. und III. Stufe aller Systeme Krystalle vorkommen, welche die Erscheinungen der Zirkularpolarisation darbieten.

Durch Aufschichtung von gleichen, außerordentlich dünnen, optisch zweiaxigen Glimmerblättchen in der Art einer Wendeltreppe, wobei das folgende Blättchen gegen das vorige immer um 120° abweicht, erhielt Reusch ein Blättchensystem, das im Konoskope sehr annähernd die Erscheinungen einer Quarzplatte wiedergibt. Sohneke glaubte daher, in den Krystallen, welche Rotationspolarisation zeigen, einen entsprechenden Bau annehmen zu dürfen.

129. Verhalten der einzelnen Krystallsysteme. Aus der optischen Untersuchung der durchsichtigen Minerale ergibt sich bald eine größere, bald eine geringere Zahl charakteristischer Eigenschaften, die als wesentliche Merkmale zu betrachten sind. Für isotrope Minerale, also die amorphen Körper und die tesseralen Krystalle ist es der Brechungsquotient und oft auch die Farbe, für die optisch einaxigen, für welche die Lage der Hauptschwingungsrichtungen eine kristallographisch bestimmte ist, sind es der Charakter der Doppelbrechung und die Hauptbrechungsquotienten, für die optisch zweiaxigen ist es 1. die Lage der Hauptschwingungsrichtungen, 2. deren Bewertung, beide zusammen die optische Orientierung ergebend, 3. bisweilen die Dispersion der Hauptschwingungsrichtungen, 4. der Winkel, 5. die Dispersion der optischen Axen, 6. die Größe der Hauptbrechungsquotienten, woraus der mittlere Brechungsquotient und die Stärke der Doppelbrechung $\gamma - \alpha$ abgeleitet werden, 7. zuweilen die Farbe und der Pleochroismus. Durch die Lage der Auslöschungsrichtungen zu den Spaltungskanten, durch die Dispersion der optischen Axen läßt sich auch an Partikeln ohne Krystallflächen bestimmen, welchem Systeme ein optisch zweiaxiges Mineral zugehört.

Triklines System. Die optischen Axen sowie die Mittellinien haben keine vorausbestimmte Lage; für jede Mineralart gilt daher eine besondere Orientierung aller optischen Richtungen. Das Aufsuchen der Axen und Mittellinien

erfolgt durch bloßes Probieren. Die Dispersion der Axen ist eine asymmetrische. Genau genommen, haben also die Axen für jede Farbe eine andere Lage in verschiedenen Ebenen und zugleich eine andere Mittellinie. Man sagt daher, im triklinen Systeme sind sowohl die optischen Axen als auch die Hauptschwingungsrichtungen dispergiert.

Fig. 466.

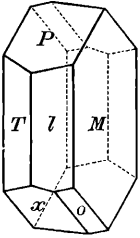


Fig. 467.

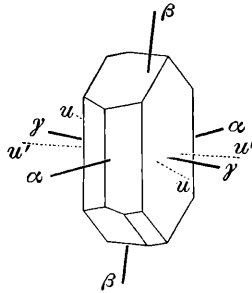


Fig. 468.

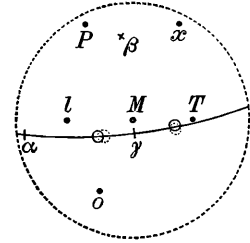


Fig. 469.

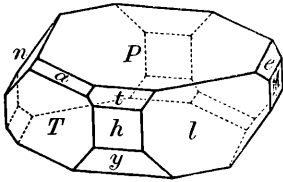
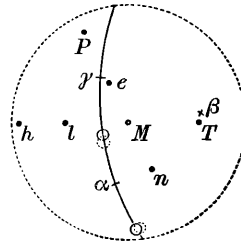


Fig. 470.



Als Beispiel mag zuerst der Albit dienen. Fig. 466 stellt einen einfachen Krystall dar. Fig. 467 zeigt denselben Krystall mit Einzeichnung der drei Hauptschwingungsrichtungen α , β , γ und der beiden optischen Axen u und u' ; Fig. 468 gibt eine stereographische Projektion der Flächen auf die Kugel. Die optischen Axen, welche durch den Mittelpunkt der Kugel gelegt gedacht werden, treffen deren Oberfläche in Punkten, welche in der Zeichnung durch kleine Kreise angedeutet werden, und zwar so, daß die punktierten den Axen für rotes Licht, die ausgezogenen Kreise den Axen für blaues Licht entsprechen, wobei die Abweichung beider etwas übertrieben dargestellt ist. Die Ebene der optischen Axen schneidet die Kugel so, daß $\alpha M = 89^\circ$, $\alpha P = 70^\circ$, $\gamma M = 13^\circ$, $\gamma P = 101\frac{1}{2}^\circ$. Die Axen sind verschieden dispergiert, ihr wahrer Winkel $2V = 77^\circ 39'$ (gelb), $78^\circ 42'$ (blau), also $\rho < v$. Optischer Charakter positiv, da γ erste Mittellinie ist. Die Hauptbrechungsquotienten sind $\alpha = 1.5285$, $\beta = 1.5321$, $\gamma = 1.5387$, demnach ist der mittlere Brechungsquotient 1.5331 und $\gamma - \alpha = 0.0102$.

Der Anorthit, dessen Krystalle bisweilen die Form in Fig. 469 darbieten, zeigt Ähnlichkeit in den Krystallwinkeln und gleiche Spaltbarkeit wie der Albit, jedoch eine andere Orientierung, indem $\alpha M = 53\frac{1}{2}^\circ$, $\alpha P = 125^\circ$, $\gamma M = 46\frac{1}{2}^\circ$, $\gamma P = 39\frac{1}{2}^\circ$, Fig. 470. Die optischen Axen sind etwas verschieden dispergiert, ihr

wahrer Winkel $2V = 76^\circ 22'$ (rot), $76^\circ 35'$ (gelb), $76^\circ 50'$ (grün), also $\rho < \nu$. Die Hauptbrechungsquotienten sind: $\alpha = 1.5756$, $\beta = 1.5835$, $\gamma = 1.5885$, demnach der mittlere Brechungsquotient 1.5825 und $\gamma - \alpha = 0.0129$. Optischer Charakter negativ.

Monoklines System. Eine Hauptschwingungsrichtung liegt senkrecht zur Symmetrieebene, folglich der Krystallaxe b parallel, die beiden anderen liegen in der Symmetrieebene. Die Ebene der optischen Axen ist daher entweder parallel oder senkrecht zur Symmetrieebene, so daß es hier nur zwei wesentlich verschiedene Orientierungen gibt. Jene Hauptschwingungsrichtung, welche der Axe b parallel ist, hat dieselbe Lage für alle Wellenlängen und behält sie auch bei Temperaturänderungen. Die beiden anderen Hauptschwingungsrichtungen können für verschiedene Wellenlängen und bei verschiedenen Temperaturen eine etwas verschiedene Lage, jedoch immer in der Symmetrieebene einnehmen; sie sind in der Symmetrieebene dispergiert.

Sind an einer Platte, welche zur Längsfläche parallel ist, die Auslöschungsrichtungen ermittelt, so erübrigt noch, an Platten, welche senkrecht zu den Hauptschwingungsrichtungen geschnitten sind, die Axenebene und den Charakter der ersten Mittellinie zu bestimmen. Ist die erste Mittellinie parallel zur Symmetrieebene b , so zeigt schon die zur Längsfläche parallele Platte das Axenbild, ist das nicht der Fall, dann gibt eine der beiden anderen Platten, welche senkrecht zur Symmetrieebene geschnitten werden, die gesuchten Erscheinungen.

a) Ist die Ebene der optischen Axen parallel zur Symmetrieebene, so ist die Normale β parallel der Symmetrieebene b , während α und γ zur Symmetrieebene parallel sind, aber weiter keine vorausbestimmte Lage haben. Demgemäß sind die optischen Axen und die Mittellinien in einer Ebene dispergiert: Geneigte Dispersion.

Fig. 471.

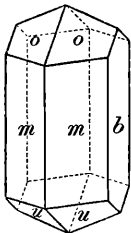


Fig. 472.

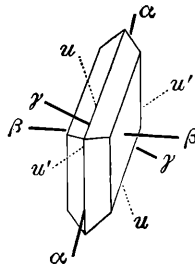
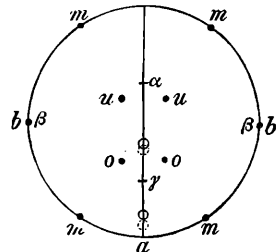


Fig. 473.



Ein hierhergehöriges Beispiel hat man am Gyps. In einem Gypskrystall, Fig. 471, bildet die Richtung γ mit der Normale zu α einen Winkel von $36^\circ 20'$. Fig. 472 zeigt einen Gypskrystall, an welchem die Flächen o fehlen, mit den optischen Linien, Fig. 473 die zugehörige Projektion. Die optische Axe, welche in diesem spitzen Winkel $\gamma \alpha$ liegt, ist stärker dispergiert als die andere¹⁾. Der

¹⁾ Die stärker dispergierte erscheint auf Taf. II in der Fig. *D* links. Über die hier herrschende anormale Dispersion: V. v. Lang, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 76, S. 793 (1877).

optische Charakter ist positiv. $2V = 57^\circ 18'$ für Rot, $2V = 56^\circ 13'$ für Violett, also $\rho > v$. Die geneigte Dispersion, welche die zu γ senkrechte Platte darbietet, ist auf Taf. II in den Fig. C und D dargestellt, wobei jedoch die Axen mehr genähert angegeben wurden, als sie es in der Tat sind, um das Bild in diesen Raum zu bringen. Aus den auf S. 211 angeführten Hauptbrechungsquotienten ergibt sich der mittlere Brechungsquotient 1·5247 und $\gamma - \alpha = 0\cdot0098$.

Fig. 474.

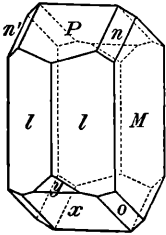


Fig. 475.

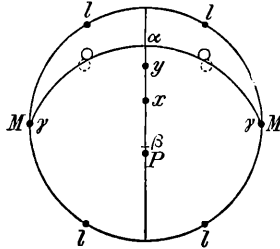
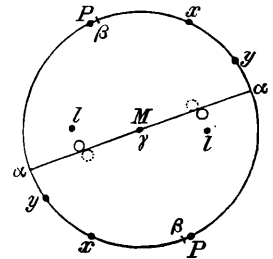


Fig. 476.



b) Ist die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Symmetrieebene, so hat die eine Mittellinie eine fixe Lage parallel der Symmetrieaxe, die andere Mittellinie aber eine nicht vorausbestimmte Lage innerhalb der Symmetrieebene und ist in derselben dispergiert. Die optischen Axen bilden mit der Symmetrieebene gleiche Winkel und sind gleich dispergiert. Ist die Platte, welche das Axenbild zeigt, senkrecht zur Symmetrieebene, so ist die Dispersion eine monosymmetrische: Horizontale Dispersion, wie in Fig. 475, ist aber jene Platte parallel zur Symmetrieebene, so ist die Dispersion dimetrisch: Gedrehte Dispersion, wie in Fig. 476.

Als Beispiel des ersteren Falles kann der Adular, Fig. 474, angeführt werden. In den Krystallen vom Gotthard ist die zweite Mittellinie γ parallel der Symmetrieaxe, während die erste Mittellinie α mit einer Normale zu 100 einen Winkel bildet, der, über $P = 001$ gemessen, für Rot $159^\circ 11'$, für Violett $159^\circ 37'$ beträgt. Der Charakter der Doppelbrechung ist negativ, der Winkel der optischen Axen etwas variabel, an einem Exemplar $2V = 69^\circ 25'$ (rot), $68^\circ 43'$ (blau), also $\rho > v$. Die horizontale Dispersion um die Mittellinie α ist auf Taf. II in den Fig. A und B dargestellt. Dieselbe ist auch aus der Projektion in beistehender Fig. 475 ersichtlich. Eine Platte von Adular, parallel M geschnitten und in dem Apparate von Adams geprüft, zeigt hingegen gedrehte Dispersion, wie aus Fig. 476 erkennbar. Hauptbrechungsquotient $\alpha = 1\cdot5190$, $\beta = 1\cdot5237$, $\gamma = 1\cdot5260$, demnach der mittlere Brechungsquotient 1·530 und $\gamma - \alpha = 0\cdot007$.

Der Borax, welcher die erste negative Mittellinie α parallel der Symmetrieaxe b und einen Axenwinkel von $59^\circ 30'$ hat, liefert parallel der Längsfläche Platten, die im Konoskop ohneweiters das Axenbild und dementsprechend gedrehte Dispersion zeigen. Fig. E und F auf Taf. II.

Der Gleichförmigkeit wegen wird auch in der Folge bei Angaben der optischen Orientierung monokliner Krystalle zuerst die Lage der Axenebene und hierauf der Winkel angeführt werden, welchen die Normale auf 100 mit den folgenden

Mittellinien α oder γ bildet, indem dieser Winkel in der Richtung von 100 über 001 gezählt wird. Also für Gyps 100: $\gamma = 36^\circ 30'$, Fig. 473; für Adular aber 100: $\alpha = 159^\circ 11'$, Fig. 475.

Rhombisches System. Die Hauptschwingungsrichtungen sind den drei Krystallaxen parallel und haben daher für alle Wellenlängen und bei allen Temperaturen dieselbe Lage; die Ebene der optischen Axen ist demnach einer der drei Endflächen parallel. Die optischen Axen erscheinen gleich dispergiert. Disymmetrische Dispersion. Werden von einem Krystallindividuum dieses Systems Platten parallel zu den drei Endflächen geschnitten, so liefert eine derselben die Inter-

Fig. 477.

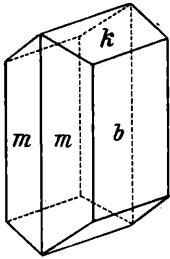


Fig. 478.

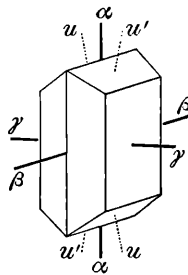


Fig. 479.

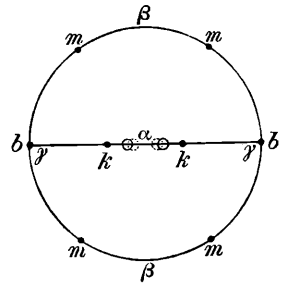


Fig. 480.

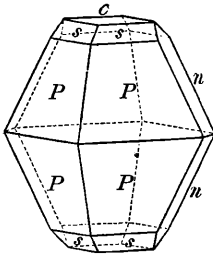


Fig. 481.

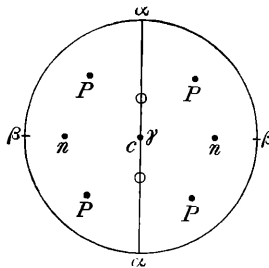


Fig. 482.

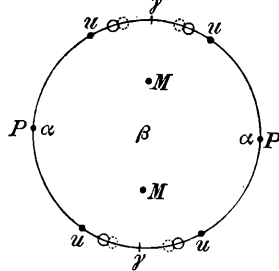
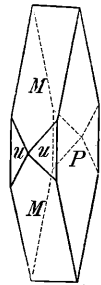


Fig. 483.



ferenzfigur der beiden optischen Axen. Denkt man sich alle Krystalle des rhombischen Systems so aufgestellt, daß die längste krystallographische Axe als c -Axe aufrecht, die kürzeste als a -Axe auf den Beobachter zulaufend gedacht wird, so kann die Ebene der optischen Axen drei verschiedene Lagen haben.

In dem Krystall von Aragonit, Fig. 477, ist die Ebene der optischen Axen parallel der Querfläche, also senkrecht zu b und k . Die erste Mittellinie α ist parallel der aufrechten Axe, Fig. 478; Charakter der Doppelbrechung demnach negativ, die Projektion zeigt Fig. 479, $2V = 18^\circ 5'$ für Rot, $18^\circ 40'$ für Violett, also $\rho < \nu$, wie dies auch aus der Dispersion hervorgeht, welche in den Fig. F und G auf Taf. I ersichtlich ist. Aus den auf S. 223 angegebenen Zahlen folgt der mittlere Brechungsquotient 1.6325 und $\gamma - \alpha = 0.1558$.

Der Schwefel, Fig. 480 und 481, zeigt die Ebene der optischen Axen parallel der Längsfläche. Die aufrechte Axe ist zugleich erste Mittellinie, und zwar γ , daher Charakter der Doppelbrechung positiv. $2V = 69^\circ 3'$, die Dispersion

sehr gering. $\alpha = 1.9579$, $\beta = 2.0376$, $\gamma = 2.2451$, demnach der mittlere Brechungsquotient 2.08 und $\gamma - \alpha = 0.287$, also eine starke Doppelbrechung.

Der Krystall von Baryt, Fig. 482 und 483, hat die Ebene der optischen Axen parallel zur basischen Endfläche, also senkrecht zu P und u . Parallel der Längsaxe liegt die erste Mittellinie. Diese ist γ . Charakter der Doppelbrechung also positiv. $2V = 37^\circ 2'$ rot, $38^\circ 30'$ blau, demnach $\rho < \nu$. Die früher angeführten Zahlen ergeben den mittleren Brechungsquotienten 1.6406 und $\gamma - \alpha = 0.0117$.

Hexagonales, tetragonales und trigonales System. Das Verhalten der Krystalle dieser drei Systeme ist das gleiche. In allen gibt die Hauptaxe die Richtung der optischen Axe an. Die Bestimmung der optischen Eigenschaften führt nicht zur Erkennung des Krystallsystemes. In zufälligen Schnitten, wie solche in einem Dünnschliffe vorliegen, geben jedoch hie und da ein bestimmter Umriß, der schichtenartige Bau, die Anordnung der allfälligen Einschlüsse, das Auftreten von Spaltrissen die nötigen Anhaltspunkte. Die Unterscheidung der hexagonalen von den trigonalen Mineralen bleibt in diesem Falle immer schwierig. Beispiele bezüglich der Hauptbrechungsquotienten und des Charakters der Doppelbrechung sind schon früher auf S. 222 angeführt.

Tesserales System. Durch die einfache Lichtbrechung sind die hierhergehörigen Krystalle genügend charakterisiert. Beispiele für Brechungsquotienten wurden auf S. 183 angegeben.

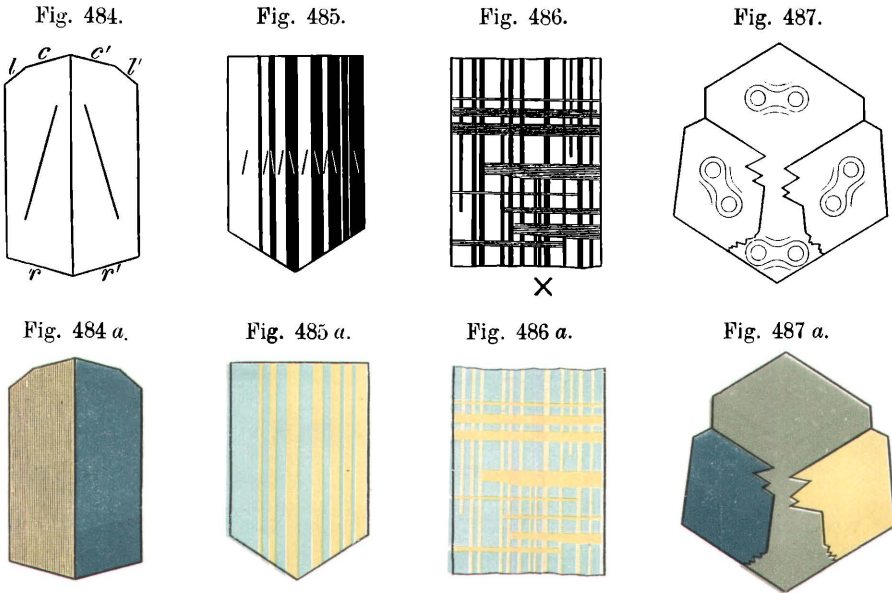
130. Erscheinungen an Zwillingen und mimetischen Krystallen. Im Orthoskope lassen alle Zwillingsbildungen die Zusammensetzung aus mehreren Individuen durch Unterschiede der Helligkeit oder durch Farbenunterschiede erkennen. Die Grenzen der Individuen sind oft scharf und geradlinig, zuweilen aber krumm und manchmal undeutlich, wofern an der Grenze mehrere Individuen übereinander zu liegen kommen. Ist die Platte senkrecht zur Zwillingssebene, so liegen die Auslöschungsrichtungen symmetrisch zu derselben, wie in Fig. 484, die eine Platte angibt, welche parallel 010 aus einem Zwillingskrystall von Hornblende genommen ist. Zwillingssebene 100. Je eine Auslöschung erscheint durch einen Strich angezeigt.

Die Wiederholungszwillinge liefern Platten, welche, im Orthoskope gesehen, gestreift sind, z. B. die Albitplatte in Fig. 485, die senkrecht zu M geschnitten ist (vgl. Fig. 257 auf S. 103). Die abwechselnden Individuen erscheinen bei der Nicolstellung, welche durch helle Striche angegeben ist, dunkel, die anderen hell.

Wendenzwillinge geben Platten, die oft aus Sektoren zusammengesetzt erscheinen. Fig. 487 zeigt die Zusammensetzung eines Drillings von Aragonit, ferner die Lage der optischen Axen in der Platte an. Sind die Individuen gleichzeitig nach verschiedenen Zwillingssebenen miteinander verwachsen, so entstehen gitterartige oder parkettierte Zeichnungen. Ein Beispiel gibt die parallel 100 geschnittene Platte aus einem Krystalle des triklinen Labradorits. Fig. 486. Dieselbe zeigt erstens die wiederholte Zwillingsbildung wie der Albit in voriger Figur, zweitens noch eine Schar von dünnen Platten, welche nach einem anderen Zwillingsgesetze, und zwar nach dem in Fig. 259 auf S. 103 angegebenen, eingeschaltet sind.

Um in jedem Falle die einzelnen Teilkristalle eines Zwillingings nicht durch die Grade der Helligkeit, sondern durch Farben unterscheiden zu können, schaltet man unter dem Analysator eine dünne Platte von Gyps oder Quarz ein. Die Fig. 484 *a* bis 487 *a* geben die Farbenercheinungen an, welche die vorher abgebildeten Präparate bei einer bestimmten Stellung der Nicols und einer bestimmten Dicke der angewandten Quarzplatte darbieten.

Im Konoskope geben die Zwillinge nur dann bestimmte Erscheinungen, wenn die einzelnen Individuen groß genug sind, um für sich Axenbilder zu liefern,



z. B. die Individuen der Aragonitplatte in Fig. 487. Bei genügender Dicke der Platte treten hier Interferenzfiguren in drei Stellungen auf, welche dem früher, S. 105, Fig. 267, dargestellten Gesetze folgen.

Bei den mimetischen Krystallen ergeben sich im allgemeinen dieselben Erscheinungen wie an Zwillingingskrystallen, doch erweist sich die Zusammensetzung meistens viel feiner und scheinbar weniger regelmäßig. Ein Beispiel ist der Mikroklin, von welchem eine Platte parallel 001 das in Fig. 488 dargestellte Verhalten zeigt. Im Orthoskop wird eine feine Zeichnung durch die schon früher, S. 112 bezeichneten Lamellen hervorgebracht.

Eine Durchdringung mehrerer Systeme von Lamellen ergeben Durchschnitte von Leucit, wie jener in Fig. 490, welcher parallel der Würfelfläche genommen ist und die Lagerung der Zwillingblättchen in der früher, S. 113 angeführten Regelmäßigkeit erkennen läßt. Brewster hat schon 1821 das Gewebe doppelbrechender Lamellen im Leucit bemerkt, später hat Zirkel dasselbe beschrieben. Auch der Boracit, dessen mimetische Natur von Mallard erwiesen wurde, zeigt im polarisierten Lichte die vielfache Zusammensetzung sehr deutlich und gibt im Konoskop die Bilder optisch zweiachsig Medien.

Die mimetischen Krystalle von trigonaler oder hexagonaler Symmetrie sind gewöhnlich Wenzwillinge. Die Krystalle des Milarits, welche hexagonale Symmetrie darbieten und die Form eines sechsseitigen Prismas mit verwendeter Pyramide und Basis nachahmen, zeigen im polarisierten Lichte die Anordnung eines Wenzwillings, ähnlich wie Aragonit, jedoch ist die Zusammensetzung komplizierter, wie der senkrecht zur Hauptaxe geführte Schnitt in Fig. 489 angibt, worin je eine Auslöschungsrichtung durch einen einfachen Strich angegeben ist. Der Kern ist nach einem anderen Zwillingsgesetze gebaut als die Rinde.

Unter den Krystallen von Glimmer und Orthochlorit kommen solche von hexagonaler und trigonaler Symmetrie vor, deren Bau durch Aufeinanderfolge monokliner Blättchen in drei um 120° verschiedenen Stellungen erklärt wurde. [46]. Die Blättchen aus solchem Glimmer sind optisch einaxig, jene aus Orthochlorit stellenweise optisch einaxig, sonst auch optisch zweiaxig und in letzterem

Fig. 488.



Fig. 489.

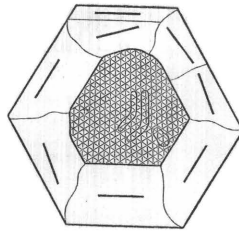
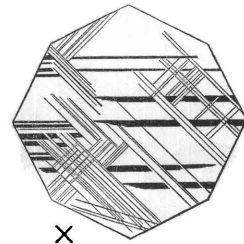


Fig. 490.



Fälle wechseln an verschiedenen Punkten die Ebenen der optischen Axen unter 120° oder sie sind zueinander rechtwinkelig gestellt. Durch die Aufeinanderfolge von vielen Blättchen mit abwechselnd rechtwinkelig gekreuzten Ebenen der optischen Axen würde sich nach den Versuchen von Reusch und von Klein die Einaxigkeit erklären.

Lit. Außer den früher, S. 113, angeführten Schriften: Brewster, Edinburgh Philos. Journ., Bd. 5, S. 218. Zirkel, Zeitschr. d. D. geol. Ges., Bd. 20. Reusch, Pogg. Ann., Bd. 148, S. 628, Tschermak, in Tschermaks Min. Mitt., 1877, S. 350. Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle. Leipzig, 1891. Klein, Sitzungsber. d. Berliner Akad., 1902, S. 114.

131. Änderungen des optischen Verhaltens durch Druck und Spannung.

Brewster hat durch viele Versuche gezeigt, daß tesserale und amorphe Körper durch Zusammenpressen sowie durch Spannung doppelbrechend werden. Wenn ein Steinsalzwürfel oder ein Glaswürfel in einer Schraubenpresse zusammengedrückt werden, so liefern sie zwischen gekreuzten Nicols die Erscheinungen doppelter Brechung und Interferenzkurven. Wenn ein Steinsalzzylinder durch einen um den runden Umfang gelegten Draht, welcher zusammengezogen wird, einem zentral wirkenden Drucke ausgesetzt ist, so gibt derselbe ähnliche Erscheinungen wie ein negativer, optisch einaxiger Körper. Glasstreifen, mit der Hand etwas gebogen, zeigen in dem Augenblicke zwischen gekreuzten Nicols Aufhellung.

Nach Aufhebung des Druckes tritt in diesen Fällen wieder der ursprüngliche Zustand ein, doch wurde an Steinsalz, Blende, Chlorsilber (sämtlich tesserale), nach starker Druckwirkung auch bleibende Doppelbrechung beobachtet.

Kieselgallerte, feuchte Gelatine, Kautschuk, Harze, überhaupt alle Kolloide zeigen schon durch geringen Druck oder Zug Doppelbrechung.

Auch in doppeltbrechenden Mineralen werden die optischen Erscheinungen durch Anwendung von Druck modifiziert. Bei der Pressung senkrecht zur Hauptaxe wird der optisch positive Quarz zweiaxig, wobei die Axenebene der Druckrichtung parallel ist. Eis zeigt die Erscheinung schon bei geringem Drucke. Der optisch negative Turmalin wird auch zweiaxig, wobei die Axenebene senkrecht zur Druckrichtung ist, ebenso verhalten sich Apatit, Beryll. Am Kalkspat werden ähnliche Veränderungen beobachtet, jedoch treten hier leicht Umlagerungen ein [77].

Glasstücke, welche zuerst erhitzt, hierauf rasch abgekühlt wurden, zerspringen beim Ritzen oder Brechen in unzählige Partikel, was eine Spannung der oberflächlichen Teile verrät. Solches rasch gekühlte Glas zeigt eine deutliche Doppelbrechung, ähnlich wie die gepreßten amorphen Körper. Auch einfachbrechende Krystalle, z. B. solche von Steinsalz, Fluorit werden durch Erhitzen und rasches Abkühlen doppeltbrechend, so zwar, daß nun Platten derselben eine Teilung in verschiedenen orientierte Felder darbieten. Viele Kolloide sind infolge der beim Eintrocknen entstehenden Spannungen schon ursprünglich doppeltbrechend. Die fossilen Harze, der Opal, der Kieselsinter zeigen daher oft energische Doppelbrechung.

Lit. Klocke, Jahrbuch f. Min., 1881, Bd. 2, S. 249. Bücking, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 7, S. 558 (1883). Brauns, Jahrb. f. Min., 1887, Bd. 1, S. 47. Pockels, ebendas., 8. Beilage, S. 217.

132. Anomale Krystalle. Von den mimetischen Krystallen abgesehen, gibt es auch solche, die äußerlich nichts von einer Zwillingstextur erkennen lassen, doch aber ein anomales, d. i. ein solches optisches Verhalten zeigen, welches nicht mit der Symmetrie der Krystallform übereinstimmt. Hierher gehören aus der Reihe der tesselaren Krystalle jene von Grossular, Senarmontit, welche eine energische Doppelbrechung zeigen, jene von Alaun und Analcim, die nur eine schwache Doppelbrechung darbieten. Unter den tetragonalen sind hervorzuheben jene von Vesuvian, Mellit, von hexagonalen jene von Apatit, Beryll, welche öfter optisch zweiaxig erscheinen.

Derlei Krystalle verhalten sich gewöhnlich so, daß sie nicht homogen, sondern aus bestimmt orientierten Teilen zusammengesetzt erscheinen, die meistens optisch zweiaxig sind. Die Art der Zusammensetzung ist von der Flächenbegrenzung abhängig, indem jene Teile den Anwachspyramiden entsprechen [56]. Wird aus einem solchen Krystall eine Platte geschnitten, so zeigt dieselbe im Orthoskope eine Felderteilung, wobei gleichen Anwachspyramiden dieselbe Orientierung der Auslöschungsrichtungen zukommt.

Ein Beispiel gibt der tesserale Analcim, ein wasserhaltiges, zu den Zeolithen gehöriges Silikat, dessen Krystalle meistens Platten mit Felderteilung und schwacher

Doppelbrechung liefern. Diese verschwindet aber, wie Klein zeigte, wenn die Krystalle einige Zeit in Wasserdampf gehalten werden. Die künstlich dargestellten und frisch bereiteten Kryställchen, auch die in frischem Gestein eingeschlossen vorkommenden, zeigen keine Doppelbrechung. Daraus ist zu schließen, daß die Doppelbrechung durch Wasserverlust und die davon herrührende Schrumpfung, welche sich nach der äußeren Form orientiert, herbeigeführt werde. Ben Saude konnte die gleiche Felderteilung an Gelatine nachahmen, die in Formen von der Gestalt der Analcimkrystalle eingetrocknet war. Auch andere Zeolithe, wie Chabasit (trigonal), Apophyllit (tetragonal), zeigen die Felderteilung. Dieselbe wird auch an manchen Mineralen, die nicht wasserhaltig sind, beobachtet, wie am Senarmontit, Grossular, Vesuvian. An den Krystallen des letzteren, der eine isomorphe Mischung darstellt, erkannte Klein eine Zunahme des abnormen Verhaltens mit dem Vorwiegen einer der gemischten Substanzen. Im Grossular, der ebenfalls zu den isomorphen Mischungen gehört, zeigt sich bisweilen ein Wechsel einfachbrechender und doppeltbrechender Schichten; auch kommen einfachbrechende neben doppeltbrechenden Krystallen vor.

Der Kalialaun (tesseral) läßt öfters Doppelbrechung erkennen. Brauns beobachtete, daß reiner Kalialaun und reiner Ammoniakalaun keine Doppelbrechung zeigen, wohl aber deren isomorphe Mischungen.

Krystalle von reinem Kalialaun, die von Jannettaz unter Kohlensäuredruck dargestellt wurden, ließen die Erscheinungen der Doppelbrechung wahrnehmen.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß die bezeichneten optischen Anomalien keine ursprünglichen, sondern sekundäre Erscheinungen sind, hervorgerufen durch Schrumpfung, durch Störung des Gleichgewichtes im Krystall bei Abnahme des Druckes, der Entstehungstemperatur, beim Verschwinden der Mutterlauge u. s. w.

Lit. R. Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig, 1891. Klein, Sitzungsber. d. Berliner Akad., Bd. 18, S. 217 (1892), Bd. 34, S. 723 (1894), Bd. 44, S. 676 (1898). Ben Saude, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 27, S. 519 (1897). Beckenkamp, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 51, S. 492.

133. Durch Textur bedingtes Verhalten. Parallelfaserige oder krummfaserige Minerale, welche durchsichtig und für sich doppeltbrechend sind, geben im Orthoskop meist gerade oder wellig gekrümmte Auslöschung. Durchsichtige Minerale, welche radiafaserige Kugeln oder Halbkugeln bilden, liefern Schnitte, in welchen schmale Krystalle radial angeordnet sind. Diese geben sowohl im parallelen als im konvergenten polarisierten Lichte ein dunkles Kreuz, dessen Äste von dem Mittelpunkt der Faserung ausgehen. Auch die ganzen Kügelchen zeigen das Kreuz. Beispiele sind die Sphärolithe im Obsidian.

Alle Minerale, welche diese Anordnung zeigen, sind an sich doppeltbrechend. Unter den Fasern, welche radial gestellt sind, werden immer vier, welche um 90° verschieden liegen, ebenso deren nächste Nachbarn, gleichzeitig dunkel erscheinen müssen, also zusammen ein dunkles Kreuz liefern.

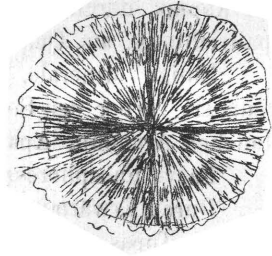
Bei Chalcedon und verwandten Mineralen hat man radialstrahlige Aggregate gefunden, deren optisch einaxige Fasern senkrecht zur optischen Axe gestreckt und wie Fig. 491 andeutet, um ihre Längsrichtung gedreht sind. Verfolgt man eine solche

Faser vom Mittelpunkt gegen die Peripherie, so zeigt sich zwischen gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung eine Folge von hellen und dunklen Stellen, je nachdem die optische Axe der gedrillten Faser parallel oder senkrecht zur Ebene des Durchschnit­tes liegt. In der Normalstellung ist die Faser in ihrer ganzen Ausdehnung dunkel. Ist das Maß der Drillung bei den benachbarten Fasern gleich, so schließen die hellen und dunklen Stellen zu konzentrischen Ringen zusammen, welche den Mittelpunkt des Aggregates umgeben und von dem Auslöschungskreuz durchsetzt werden. Ist die Drillung weniger gleichmäßig, so wird die Erscheinung gestört (Fig. 492).

Fig. 491.



Fig. 492.



134. Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Eine Erscheinung, welche nur an wenigen Mineralen beobachtet wird, hat nach dem Fluorit oder Flußspat den Namen Fluoreszenz erhalten. Brewster, Herschel und Stokes haben sich mit derselben eingehender beschäftigt.

Mancher Fluorit, namentlich solcher aus Cornwall, hat im durchfallenden Lichte eine meergrüne Farbe, während er im auffallenden Lichte schön violblau erscheint. Läßt man im verdunkelten Raume auf einen solchen Fluorit ein Bündel Tageslicht auffallen, so leuchtet dieses beim Eintritt in das Mineral mit schöner blauer Farbe, in tieferen Schichten hört das Leuchten und die Farbe auf. Ein Lichtbündel, welches durch eine Platte solchen Fluorits gegangen ist, vermag beim Eintritt in einen zweiten solchen Fluorit nichts mehr von dem leuchtenden Blau zu erregen. Die Fluoreszenzfarbe dieses Fluorits ist also blau oder man sagt, dieses Mineral fluoresziert blau. Die Eigenschaft rührt aber bloß von dem Farbstoff her, welcher höchstwahrscheinlich ein Kohlenwasserstoff ist.

Manches Erdwachs und ebenso manches Erdöl fluoresziert grün. Ob das Blau mancher Exemplare von Bernstein Fluoreszenzfarbe ist, erscheint noch zweifelhaft.

Bei der Hervorbringung von Fluoreszenzlicht sind namentlich die ultravioletten Strahlen des Spektrums sehr wirksam, welche selbst vom Auge nicht als Licht wahrgenommen werden. Läßt man solche für das Auge dunkle ultraviolette Strahlen auf Minerale fallen, so leuchten diese in dem ihnen eigentümlichen Fluoreszenzlicht auf, welches nun ungestört durch einfallendes Licht wahrgenommen wird. Diese Art der Untersuchung kann unter Umständen zum Nachweis kleiner Mengen der fluoreszierenden Minerale in Gesteinen dienen.

Das Fluoreszenzlicht doppeltbrechender Körper zeigt nach den Beobachtungen von Sohneke Polarisation mit derselben Orientierung wie das durchgehende Licht.

Eine andere Erscheinung, welche etwas häufiger auftritt, ist die Phosphoreszenz, welche zuerst von Placidus Heinrich 1811 etwas aufmerksamer geprüft

wurde. Man versteht bekanntlich unter Phosphoreszenz (Lumineszenz) das selbständige Leuchten bei verhältnismäßig niedriger Temperatur und ohne erkennbare Substanzveränderung. Eingehende Untersuchungen wurden von E. Becquerel angestellt.

Durch Stoß, Reibung oder durch Trennung von Mineralen entstehen öfter ziemlich starke Lichterscheinungen, z. B. an manchem Dolomite und an der Blende von Kapnik durch Kratzen, an Glimmertafeln durch rasche Trennung nach der Spaltrichtung, am Quarz durch Reiben zweier Stücke gegeneinander.

Einige Minerale, z. B. manche Diamanten, geben im Dunkeln ein Licht, wenn sie vorher den Sonnenstrahlen oder gar nur dem Tageslicht ausgesetzt waren. Mancher Aragonit, Apatit, Kalkspat zeigt auch die Erscheinung.

Baryt phosphoresziert sehr merklich, nachdem er gebrannt worden.

Durch Erwärmung werden nicht wenige Minerale phosphoreszierend. Mancher Diamant, Topas, Fluorit leuchtet schon in der warmen Hand, mancher grüne Fluorit bei Temperaturen über 60°, Apatit bei solchen über 100° etc. Die nach vorheriger Beleuchtung phosphoreszierenden Körper erhalten alle dieselbe Eigenschaft gleichfalls durch Erwärmung.

Auch durch elektrische Entladung werden Minerale wie Sapphir, Diamant im Dunkeln leuchtend. Das ausgestrahlte Licht zeigt nach Crookes ein diskontinuierliches Spektrum.

Durch Röntgenstrahlen werden mehrere Minerale zum Leuchten gebracht, wie Fluorit, Apatit, Wollastonit, Cerussit, aber mit wechselnder Stärke, je nach dem Fundorte. Gleiche Wirkung haben die von den merkwürdigen Radiumverbindungen ausgehenden Strahlen. Unter allen bisher untersuchten Mineralen werden Willemite und mancher Diamant durch Radium, Röntgenstrahlen und ultraviolettes Licht am meisten zur Phosphoreszenz angeregt.

Merkwürdig ist auch die von H. Rose beobachtete Lichterscheinung beim Krystallisieren der arsenigen Säure und das Aufleuchten eines zuvor geschmolzenen und dann gelösten Gemenges von Kali- und Natronsulfat im Augenblicke des Krystallisierens.

Lit. Über Fluoreszenz im allgemeinen: Stokes, in Pogg. Ann., Bd. 96, S. 523, und Ergänzungsband 4, S. 188. Pisko, Die Fluoreszenz des Lichtes. Wien, 1861. Hagenbach, Pogg. Ann., Bd. 141, 146. E. Becquerel, Annales de chim. et de physique, 3. Serie, Bd. 55, und dessen Werk *La lumière, sa cause et ses effets*. 1. Bd., Paris, 1867. H. Rose, Pogg. Ann., Bd. 35. Sohnecke, Wiedem. Ann. der Physik, Bd. 85, S. 417 (1896). Kilhack, Zeitschr. d. deutschen geolog. Ges., Bd. 50, S. 131 (1899). Referat bez. Röntgenstrahlen, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 30, S. 610 (1899).

135. Wärmestrahlung. Wenn sich die Wärme strahlenförmig fortpflanzt, so zeigt sie nach den Arbeiten von Melloni und Knoblauch dasselbe Verhalten wie das Licht. Wärmestrahlen erfahren demnach Reflexion, einfache Brechung, doppelte Brechung, Polarisation, Absorption wie die Lichtstrahlen und es sind bloß die numerischen Verhältnisse verschieden. Dies erklärt sich durch die Annahme, daß die Wärmestrahlen ebenfalls Atherschwingungen sind, welche senkrecht zur Fort-

pflanzungsrichtung stattfinden, die aber auf die Netzhaut des Auges keine Wirkung ausüben.

Um geringe Wirkungen von Wärmestrahlen sichtbar zu machen, konstruierte Melloni einen Apparat, welcher aus einer Thermosäule und einem Galvanometer besteht. Die auf die Säule fallenden Wärmestrahlen erzeugen einen galvanischen Strom, dessen Existenz durch die Bewegung der Magnetnadel im Galvanometer angezeigt wird. Am leichtesten läßt sich mittels dieses Apparates die verschiedene Durchgängigkeit für Wärme, welche den verschiedenen Graden der Durchsichtigkeit analog ist, prüfen. Steinsalz erweist sich am meisten durchgängig oder diatherman, weniger der Kalkspat, noch weniger Gyps. Kupfervitriol, Alaun, Wasser sind fast undurchgängig oder adiatherman, Metalle vollständig adiatherman oder, wie auch gesagt wird, atherman.

Die Diathermanie ist von der Durchsichtigkeit unabhängig. Eine Platte dunkeln Glimmers ist diatherman, eine ebenso dicke Schichte Wassers ist adiatherman.

Lit. in A. Wüllner, Lehrb. d. Experimentalphysik.

136. Wärmeleitung. Bei der Fortpflanzung der Wärme durch Leitung macht sich bekanntlich jene Ungleichheit bemerkbar, welcher zufolge wir unter den Mineralen gute und minder gute Wärmeleiter unterscheiden. Wiedemann und Franz beobachteten die Leitung an Stäben mittels Anlegung einer Thermosäule und erhielten für Silber den höchsten Wert, welcher hier = 100 gesetzt ist, für andere Metalle aber geringere Zahlen, z. B.:

Silber.....	100·0	Eisen.....	11·9
Kupfer.....	73·6	Blei.....	8·5
Gold.....	53·2	Platin.....	8·4
Zinn.....	14·5	Wismut.....	1·8

Marmor und steinartige Minerale gaben anderen Beobachtern noch geringere Zahlen als Wismut.

Die Wärmeleitung ist öfter nach der Richtung verschieden. Um dies zu zeigen, überzog Sénarmont Platten von den zu prüfenden Körpern mit einer dünnen Wachsschicht und steckte durch eine Bohrung einen Draht, welcher erwärmt wurde. Rings um den letzteren erfolgte Schmelzung des Wachses und nach Unterbrechung des Versuches blieb ein kreisförmiger oder elliptischer Wall als Isothermenlinie zurück. Die Durchmesser der Ellipsen gaben das Verhältnis der Leitung in den entsprechenden Richtungen. Röntgen modifiziert das Verfahren, indem er auf die angehauchte Krystallplatte eine erhitzte Metallspitze aufsetzt, hierauf, nachdem rings um die Spitze der Hauch verschwunden ist, die Platte mit Lycopodiumsamen bestreut und dann vorsichtig abklopft. Die nun freie, kreisförmige oder elliptische Fläche zeigt schärfere Begrenzungen als bei der vorigen Methode.

Tesserales Krystalle gaben auf allen Flächen und Schnittebenen kreisförmige Isothermenwälle, die Krystalle von wirteligem Baue lieferten auf den Basisflächen Kreise, auf den Prismenflächen Ellipsen, die Krystalle von einfacherem Baue auf allen Flächen Ellipsen. Die Wärme pflanzt sich also in den tesseralen Körpern kugelartig fort, die isotherme Fläche ist eine Kugel, in den Krystallen von wirteligem Baue ist sie ein Rotationsellipsoid, in den Krystallen von einfacherem Baue ein dreiaxiges Ellipsoid.

Amorphe Körper geben kreisförmige Isothermenlinien. Sénarmont zeigte aber, daß durch Pressen von Glas und Porzellan die Leitung in der Richtung des Druckes vergrößert wird, daher auf einer Glasfläche während der Pressung eine elliptische Isothermenlinie entsteht.

Lit. Wiedemann u. Franz, Pogg. Ann., Bd. 89. Sénarmont, Annales de chimie et de phys., 3. Ser., Bd. 22, S. 179. v. Lang, Sitzungsber. d. Wiener Ak., Bd. 54. Röntgen, Pogg. Ann., Bd. 151, S. 603. Jannettaz, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 3, S. 637. Lees, Philos. Transactions Roy. soc., Bd. 183 A, S. 481 (1892). Voigt, Wiedem. Ann. d. Physik, Bd. 60, S. 350 (1897). Hecht, ebenda, Bd. 14, S. 1008 (1904).

137. Wirkungen der Wärme in Krystallen. Die Ausdehnung, welche Krystalle durch die Wärme erfahren, ist viel geringer als jene der Flüssigkeiten. Während bei der Erwärmung von 0° auf 100° C das Wasser sich um $\frac{1}{23}$, das Quecksilber um $\frac{1}{55}$ ausdehnt, beträgt die Ausdehnung des Steinsalzes $\frac{1}{247}$, die des Diamants $\frac{1}{8480}$. Einzelne Körper lassen eine Zusammenziehung beim Erwärmen erkennen, jedoch nur in bestimmten Regionen der Temperatur, wie z. Wasser unter 4° , der Diamant unter -24° .

Während die tesseralen und amorphen Minerale sich nach allen Richtungen gleich ausdehnen, ist in den Krystallen der übrigen Systeme die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen oft eine verschiedene. Werden aus derlei Krystallen Stäbchen geschnitten, so wird die Länge derselben bei der Erwärmung von 100° um einen Bruchteil α sich vergrößern, dessen Wert für die gewählte Richtung gilt. In dem seltenen Falle der Verkürzung ist α negativ. Die Versuche von Pfaff und Fizeau, besonders die genauen Messungen des letzteren, haben das Resultat ergeben, daß die Ausdehnung bei allen Krystallen innerhalb der gewöhnlich angewandten Temperaturgrenzen so erfolgt, daß alle geraden Linien und Ebenen des Krystalls auch nach der Erwärmung gerade Linien und Ebenen bleiben und daß die Symmetrie der Krystalle nicht geändert wird.

Tesserales Krystalle erfahren eine gleichförmige Volumänderung. Die Winkel der Flächen bleiben bei allen Temperaturen dieselben. Eine Kugel, aus einem solchen Krystall geschnitten, bleibt auch beim Erwärmen eine Kugel. Die Krystalle der übrigen Systeme erfahren eine Gestaltänderung.

Krystalle von wirteligem Baue haben in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen dieselbe, parallel zur Hauptaxe aber eine andere Ausdehnung. Quarz lieferte parallel der Hauptaxe $\alpha = 0.000781$ und senkrecht dazu $\alpha' = 0.001419$.

Kalkspat lieferte $\alpha = 0.002621$ und $\alpha' = -0.000540$. Dieser zieht sich also bei der Erwärmung in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen zusammen, doch vergrößert sich sein Volumen. Wird aus einem Krystall von wirteligem Baue eine Kugel geschnitten, so verwandelt sich dieselbe beim Erwärmen in ein Rotationsellipsoid. Beim Quarz und Eisenglanz ist es ein abgeplattetes, beim Kalkspat ein verlängertes. An Krystallen dieser Abteilung ändern sich die Winkel der Prismenzone und die rechten Winkel zwischen dieser und der Basis gar nicht, während die Winkel aller zur Hauptaxe geneigten Formen, also jene der Pyramiden, Rhomboeder etc., sich ändern. Die Polkante des Grundrhomboeders am Kalkspat wird nach Mitscherlich bei der Erwärmung um 100° C um $8\frac{1}{2}$ Minuten, jene des Eisenspates bloß um $2\frac{1}{2}$ Minuten schärfer, die Rhomboeder werden demnach spitzer.

Krystalle von einfacherem Baue dehnen sich nach einer bestimmten Richtung am stärksten, nach einer dazu senkrechten am schwächsten aus. Nimmt man noch eine zu den beiden vorigen senkrechte Richtung von mittlerer Ausdehnung hinzu, so hat man die drei thermischen Axen. Diese liegen in rhombischen Krystallen parallel den Krystallaxen, im monoklinen System ist eine davon senkrecht zur Symmetrieebene, also parallel der Queraxe, im triklinen ist die Lage unbestimmt. Beim Aragonit hat man für α die drei Werte bezüglich der Axen: 0.001016 , 0.001719 , 0.003460 . Eine Kugel, welche aus Krystallen von einfacherem Baue geschnitten wird, verwandelt sich beim Erwärmen in ein dreiaxiges Ellipsoid. Die Flächenwinkel dieser Krystalle ändern sich im triklinen System insgesamt, im monoklinen Systeme bleiben bloß die rechten Winkel erhalten, welche die Längsflächen mit den Flächen der Medianzone bilden, im rhombischen Systeme bloß die rechten Winkel zwischen den Endflächen und den Flächen der normal zu diesen orientierten Axenzonen unverändert. Daß das Krystallsystem dabei unverändert bleibt, wurde an mehreren Beispielen, wie Orthoklas, Augit, Gyps (monoklin) und von Beckenkamp am Anorthit und Axinit (triklin) erwiesen.

Eine merkwürdige Erscheinung, welche manche Krystalle bei der Erhitzung zeigen, ist die Umlagerung von Teilchen in die Zwillingstellung. Klein beobachtete am Boracit, Mallard am Arcanit, Mügge am Anhydrit das Entstehen von Zwillinglamellen beim Erhitzen. Ungleichmäßigkeit in der Erwärmung erzeugt hierbei jene Druckkräfte, welche die Umlagerung der Teilchen in eine Zwillingstellung [77] hervorrufen. Umgekehrt wurde im Calcit das Verschwinden von Zwillinglamellen beim Erwärmen wahrgenommen.

Zwillingkrystalle verhalten sich wie einfache Krystalle, wofern sich die Individuen an der Zwillingsebene berühren. Ist dies nicht der Fall, sind die Individuen des Zwillinges mit anderen Flächen aneinandergelagert, so werden derlei Zwillinge bei Temperaturveränderungen sich krümmen, ähnlich wie bei dem Versuche Fresnels, welcher zwei Gypsblättchen in gekreuzter Stellung zusammenleimte und sodann erwärmte.

In den mehrfach zusammengesetzten Zwillingen und in den mimetischen Krystallen, in welchen die Individuen ganz verschränkt sind und keine Krümmungen gestatten, werden bei jeder Temperatur, welche von der Entstehungstemperatur

des Krystalles verschieden ist, Spannungen vorhanden sein. Diese würden sich bei größerer Stärke optisch anzeigen [132].

Lit. Fizeau, Pogg. Ann., Bd. 135, S. 372 (1868). Beckenkamp, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 5, S. 436 (1881). Fletcher, ebenda, Bd. 8, S. 455 (1884). Schrauf, ebenda, Bd. 12, S. 321 (1887). Ro'senbusch, Jahrb. f. Min. 1885, Bd. II, S. 59. Bäckström, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 26, S. 93 (1896), Referat.

138. Änderungen der Temperatur sind auch mit Änderungen der optischen Eigenschaften verbunden; namentlich wird auch die Lichtbrechung in Krystallen durch die Temperatur beeinflußt. Die Untersuchungen von Rudberg, Fizeau, van der Willigen, Stefan, Arzruni, Offret, Rinne ergeben für einige Minerale eine Abnahme der Brechungsquotienten mit dem Steigen der Temperatur, für andere eine Zunahme. Dabei ist ein Zusammenhang zwischen Ausdehnung des Krystalles und Änderung der Brechungsquotienten keineswegs zu bemerken.

In tesseraleen Krystallen wird der Brechungsquotient mit Zunahme der Temperatur kleiner für Steinsalz, Sylvin, Fluorit, größer für Diamant, Blende.

In optisch einaxigen Krystallen ändern sich beide Brechungsquotienten. Im Quarz werden beide durch Temperaturerhöhung kleiner und die Stärke der Doppelbrechung geringer. Im Kalkspat vergrößert sich ϵ stark, ω sehr wenig, daher die Doppelbrechung $\omega - \epsilon$ kleiner wird. Im Beryll werden beide Brechungsquotienten größer und die Doppelbrechung verstärkt sich.

In optisch zweiaxigen Krystallen ändern sich alle drei Hauptbrechungsquotienten und demzufolge die Winkel der optischen Axen, zuweilen auch die Lage der Axenebene. In monoklinen Krystallen kann außerdem die Lage zweier Hauptschwingungsrichtungen sich ändern, in triklinen Krystallen kann dies an allen dreien eintreten. Die Untersuchung kann mit dem auf Seite 239 in Fig. 451 dargestellten Apparate ausgeführt werden.

Im Aragonit (rhombisch) werden durch Erwärmung um 60° alle drei Brechungsquotienten kleiner, ohne daß der Winkel der optischen Axen sich merklich ändert. Cerussit ist empfindlicher und läßt die Vergrößerung dieses Winkels leicht erkennen. Im Baryt werden alle drei Brechungsquotienten kleiner, der Axenwinkel verringert sich bis 200° bloß um 3° .

Von monoklinen Krystallen ist der Gyps recht empfindlich. Descloizeaux, welcher viele Beobachtungen in dem thermisch-optischen Gebiete angestellt hat, erkannte, daß beim Erwärmen einer Gypsplatte jenes Axenbild, welches auf Taf. II in Fig. *D* links liegt, sich schneller gegen innen zu bewegt als das andere Axenbild, daß sich also die erste Mittellinie nach rechts bewegt. Bei einer Temperatur, welche von Kraus und Young in neuerer Zeit zu 89° für Na-Licht bestimmt wurde, vereinigen sich beide Hyperbeln zu einem Kreuz und gehen bei höherer Temperatur in einer Ebene auseinander, welche zur vorigen Axenebene senkrecht ist. Beim Eintritt in die neue Ebene gehen die Axen für Blau voran, jene für Rot folgen nach. Beim Abkühlen folgen alle Erscheinungen umgekehrt. Noch empfindlicher ist der Glauberit. Bei gewöhnlicher Temperatur zeigt er die Axenbilder wie in den Fig. *D* und *E* auf Taf. I. Die Ebene der optischen Axen ist

senkrecht zur Symmetrieebene, der Winkel für Rot beträgt etwa 14° , der für Blau etwa 2° . Die Dispersion ist also sehr stark $\rho > \nu$. Bei Erwärmung der Platte schließen sich die farbigen Hyperbeln sehr bald und gehen hierauf in einer zur vorigen senkrechten Ebene auseinander, wobei die Axen für Blau vorangehen. Die Dispersion ist jetzt $\rho < \nu$. Bei der folgenden Abkühlung nimmt alles den umgekehrten Lauf. Nach den Beobachtungen von Laspeyres wird der Winkel der optischen Axen = 0

für	Blau	Grün	Gelb	Rot
bei der Temperatur . .	18°	36°	46°	58° C.

Im Adular vom Gotthard verkleinert sich der Axenwinkel bei der Erwärmung, wird hierauf Null, und bei Temperaturen über 200° sind beide Axen in eine zur vorigen senkrechte Ebene übergetreten, während ihr Winkel sich vergrößert. Die Axen für Blau gehen voran. Abkühlung führt alles in verkehrter Folge zum ursprünglichen Zustande zurück; wenn aber die Erhitzung bis zur Rotglut getrieben worden ist, bleibt die eingetretene Änderung permanent und die Platte zeigt jetzt die Axen in der neuen Ebene, es ist die Symmetrieebene.

Daß durch Erwärmen auch die Drehung der Polarisationsebene im Quarze beeinflußt wird, haben Fizeau, v. Lang, Sohneke gezeigt.

Lit. Descloizeaux, *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux* Paris, 1867. Arzruni, *Zeitschr. f. Kryst.*, Bd. 1, S. 165 (177). Laspeyres, ebenda, S. 529. Sohneke, *Wiedem. Ann.*, Bd. 3, S. 516. Schrauf, *Zeitschr. f. Kryst.*, Bd. 18, S. 133 (1891). A. Offret, *Bull. soc. min.* Bd. 13, 1890. F. Rinne und R. Kolb, *Zentralbl. f. Min.*, 1911, Nr. 3. Tutton, *Zeitschr. f. Kryst.*, Bd. 46, S. 135. E. H. Kraus und L. J. Young, *Jahrb. f. Min.*, 1912, I. Erhitzungsapparate: Brünée, *Jahrb. f. Min.*, 1890, Bd. II, S. 87. F. ueß, ebenda, 1891, Bd. I, S. 65.

139. Schmelzen und Verdampfen. Durch Erwärmen können viele starre Körper in Flüssigkeiten verwandelt werden. Der Übergang ist meist ein plötzlicher, indem aus dem starren Körper sogleich eine Flüssigkeit entsteht. Doch finden sich gerade unter den Mineralen viele, bei denen zunächst eine sehr zähe, amorphe Schmelze entsteht, die erst bei höherer Temperatur dünnflüssig wird. Die Temperatur, bei welcher der Übergang des krystallinischen Körpers in die amorphe Schmelze erfolgt, heißt Schmelztemperatur oder Schmelzpunkt. Dieser ist in der letzten Zeit auch für viele Minerale bestimmt worden. Die Beobachtungen werden in kleinen Öfen gemacht, in denen das Erglühen einer Platinspirale unter dem Einfluß eines elektrischen Stromes die hohe Temperatur liefert. Ihre Messung erfolgt durch ein Thermolement von Platin und Platinrhodium, dessen Lötstelle in die Probe taucht. Die freien Enden des Thermolements sind mit einem geeichten Galvanometer verbunden, dessen Ausschlag die Temperatur registriert. Der Moment des Schmelzens wird entweder durch direkte Beobachtung, öfter unter Zuhilfenahme eines Mikroskops festgestellt, oder er wird aus der Verzögerung des Temperaturanstieges erschlossen, die sich beim Beginn des Schmelzens einstellt und so lange dauert, bis die ganze Probe geschmolzen ist, worauf dann ein weiterer Anstieg der Temperatur erfolgt. Dieser Haltepunkt ist aber nur bei

Metallen und anderen scharf schmelzenden Substanzen deutlich, dagegen umso weniger ausgeprägt, je zäher das beim Schmelzen entstehende Produkt ist. In diesem Falle sind die Beobachtungen mit einer großen Unsicherheit behaftet und die Angaben verschiedener Beobachter stimmen schlecht überein. Eine andere Quelle der Unsicherheit ist mangelnde Reinheit der Probe. Beimengung fremder Substanzen drückt den Schmelzpunkt herab.

Der Schmelzpunkt ist bei den verschiedenen Mineralen sehr verschieden, wie dies folgende Beispiele zeigen, die zum Teil nur beiläufige Bestimmungen anführen:

Schmiedeeisen ..1600 ⁰	Quarz1600 ⁰
Kupfer1083	Enstatit1400
Gold1062	Leucit1320
Silber 960	Tremolit1220
Antimon 629	Orthoklas1160
Blei 327	Anorthit1260
Wismut 265	Albit1135
Schwefel 115	Steinsalz 819
Eis 0	Bleiglanz 727
Quecksilber—40	Antimonit 520

Die Temperatur beim Schmelzen und jene beim Erstarren sind unter gewöhnlichen Umständen gleich. Quecksilber erstarrt also bei -40° , Wasser bei 0° , flüssiger Schwefel bei 115° .

Minerale von hohem Schmelzpunkte werden in einer bestimmten Flamme schwer oder gar nicht schmelzen, während Minerale von niederem Schmelzpunkte darin zerfließen. Bei Anwendung derselben Flamme werden sich demnach verschiedene Grade der Schmelzbarkeit ergeben, welche zur Charakterisierung der Minerale ungemein dienlich sind. Als konstante Flamme benützt man entweder die Flamme einer Kerze mit starkem Dochte, welche mit dem Lötrohr angeblasen wird, oder, wenn man stets Leuchtgas zur Disposition hat, dem Vorschlage Bunsens gemäß, den blauen Saum der Gasflamme des Bunsenschen Brenners. Die zu prüfenden Minerale werden in der Form feiner Splitter von möglichst gleicher Größe angewendet und entweder in eine Pinzette mit Platinspitzen getan oder in das Ohr eines feinen Platindrahtes gefaßt. Minerale von metallischem Aussehen werden auf eine Unterlage von Holzkohle gebracht.

Kobell hat eine praktische Skala der Schmelzbarkeit angegeben:

1. Antimonglanz schmilzt schon in der gewöhnlichen Kerzenflamme.
2. Natrolith, stängliger, schmilzt in der Lötrohrflamme leicht zur Kugel.
3. Almandin, roter Granat, gibt vor dem Lötrohr ein Kügelchen.
4. Strahlstein schmilzt vor dem Lötrohr am Ende des feinen Splitters zu einem runden Köpfchen.
5. Orthoklas schmilzt vor dem Lötrohr an den Kanten und in feiner Spitze.
6. Bronzit zeigt auch in feinen Splittern kaum Spuren von Schmelzung.
7. Quarz, vollständig unschmelzbar.

In einer stärkeren Flamme werden begreiflicherweise andere Resultate erzielt. In der Knallgasflamme schmilzt Platin, dessen Schmelztemperatur zu 1755° angenommen wird, ebenso schmilzt Quarz darin, Bronzit mit Leichtigkeit. Die gewöhnlichen Angaben bei der Beschreibung der Minerale beziehen sich jedoch immer auf die Lötrohrflamme.

Obwohl das Schmelzen der starren Körper im allgemeinen von außenher beginnt, zeigen doch manche Minerale ein Schmelzen im Innern, wobei oft negative Krystalle gebildet werden. Tyndall beobachtete die Entstehung negativer, mit Wasser gefüllter Krystalle im Eise dort, wo die Sonnenstrahlen durch eine Linse vereinigt wurden. Chrustschoff erkannte die Bildung negativer Krystalle im Quarz, welcher stark geglüht worden war.

Manche Minerale lassen sich unverändert schmelzen und kehren nach dem Erstarren wieder in den früheren Zustand zurück, wie das Steinsalz, andere gehen dabei in den amorphen Zustand über, wobei ihre Dichte sich verringert, wie der Quarz, dessen Dichte 2.65 beträgt, während dem amorphen Schmelzprodukt die Dichte 2.23 zukommt. Wieder andere sind nach dem Schmelzen verändert, wie die Granate, welche im ursprünglichen Zustande durch die gewöhnlichen Säuren schwer zersetzbar sind, während das Schmelzprodukt, welches aus dreierlei Krystallen besteht, durch Säuren zersetzt wird. Viele Minerale zeigen beim Erhitzen eine auffällige Veränderung, wie der Gyps, welcher dabei trübe wird und Wasserdämpfe ausgibt, oder wie der Pyrit, der Bernstein, welche sich beim Erhitzen an der Luft entzünden und verbrennen.

Die starren Minerale, welche sich unverändert verflüchtigen lassen, liefern einen Dampf, der beim Abkühlen dieselbe Substanz in der Form von Pulver oder von kleinen Krystallen absetzt [8]. Der Vorgang wird Sublimation genannt. Schwefel, Arsenit lassen sich sublimieren, bei höheren Temperaturen auch andere Verbindungen, wie Bleiglanz.

Die flüssigen Minerale zeigen bei höheren Temperaturen die Erscheinung des Siedens. Dabei verwandelt sich die Flüssigkeit allmählich in Dampf, der nach dem Auffangen und Abkühlen wiederum die ursprüngliche Flüssigkeit liefert. Letzterer Vorgang wird Destillation genannt. Die Siedetemperatur ist bei bestimmtem Drucke eine konstante. Bei Normalbarometerstand siedet Quecksilber bei 350° , Schwefel bei 450° , Wasser bei 100° . Lösungen von Salzen in Wasser haben einen höheren Siedepunkt als dieses, z. B. eine gesättigte Kochsalzlösung 108° , eine gesättigte Salpeterlösung 115° . Beim Destillieren solcher Lösungen erhält man reines Wasser. Das Steinöl, welches eine Mischung mehrerer Flüssigkeiten ist, hat einen veränderlichen Siedepunkt. Durch Auffangen und Abkühlen der bei steigender Siedetemperatur gebildeten Dämpfe (fraktionierte Destillation) lassen sich jene Flüssigkeiten sondern.

140. Elektrizität. Alle starren Minerale, sowie allgemein die starren Körper, zeigen die Eigenschaft, nach dem Reiben leichte Körper anzuziehen und überhaupt in den elektrischen Zustand zu geraten. Der Versuch gelingt jedoch bei den einen, welche die Elektrizität schlechter leiten, wie Bernstein, Quarz, ohne-

weilers, indem das Mineral in der Hand gehalten wird, während die anderen, welche gute Leiter sind, wie die Metalle, zuvor in eine Fassung oder auf eine Unterlage von Harz, Glas u. s. w. gebracht (isoliert) werden müssen. Die ersten genaueren Versuche rühren von Äpinus, Hauy, Brewster her. Der elektrische Zustand ist bekanntlich zweierlei; positiv, wie am geriebenen Quarz und Glas, oder negativ, wie am geriebenen Schwefel und Bernstein. Diese beiden Elektrizitäten sind einander entgegengesetzt, heben einander auf.

Um geringe Grade der elektrischen Erregung zu erkennen, bedient man sich nach Hauy des elektrischen Pendels; welches aus einer isolierten, horizontal beweglichen Metallnadel besteht, oder eines der gebräuchlichen Elektroskope, von welchen das durch Behrens konstruierte, nach der Modifikation durch Rieß am empfindlichsten ist und zugleich die Art der Elektrizität angibt, oder endlich des Thomson'schen Elektrometers.

So wie durch Reibung, werden die Minerale auch durch Schaben, Spalten, Zerbrecen oder Zerreißen elektrisch. Werden Blättchen von Gyps oder Glimmer abgespalten, so zeigt sich die eine Spaltfläche positiv, die andere negativ elektrisch. Druck erregt ebenfalls Elektrizität (Piezoelektrizität), und zwar besonders bei solchen Krystallen, bei denen polare Symmetrieachsen vorkommen. Turmalinkrystalle geben nach den Versuchen von J. und P. Curie bei der Pressung an den beiden Enden verschiedene Elektrizitäten. An Quarzkrystallen hat Röntgen die Entwicklung von entgegengesetzten elektrischen Ladungen an den Enden der polaren Nebenachsen beobachtet, wenn ein Druck in diesen Richtungen ausgeübt wird.

141. Durch Erwärmung oder Abkühlung der Krystalle schlechtleitender Minerale wird ebenfalls eine elektrische Erregung veranlaßt. Die Erscheinungen werden als Pyroelektrizität zusammengefaßt. Am bekanntesten ist das Verhalten des Turmalins. Durchsichtige und halbdurchsichtige Stücke desselben sind bei gleichbleibender Temperatur unelektrisch, beim Erwärmen wird jeder Krystall an einem Ende positiv, am anderen aber negativ elektrisch. Bei Umschlag der Temperatur ist er wieder unelektrisch, beim Abkühlen aber zeigt sich an jedem der beiden Enden eine Elektrizität, welche der beim Erwärmen daselbst auftretenden entgegengesetzt ist. G. Rose nannte hier und in ähnlichen Fällen den beim Erwärmen positiv werdenden Pol analog, den anderen antilog.

So wie Turmalin verhält sich auch das rhombisch hemimorphe Kieselzinkerz, sowie überhaupt nicht leitende Krystalle, die mit einer einzelnen polaren Symmetrieaxe ausgestattet sind. Ferner ist auch beim Skolecit, der der Stufe II des monoklinen Systems angehört, erkannt worden, daß Richtungen in der Symmetrieebene, deren Gegenrichtung sich kristallographisch verschieden verhält, pyroelektrisch erregbar sind.

Auch Krystalle mit mehreren polaren Symmetrieachsen, wie die trigonal trapezoedrischen Krystalle von Quarz, ferner tetraedrisch hemiedrische Krystalle, wie Zinkblende, zeigen bei Temperaturänderung entgegengesetzte Elektrizität an den beiden Enden der polaren Symmetrieachsen.

Spuren von pyroelektrischen Erscheinungen wurden durch die mühevollen Untersuchungen von Hankel auch an zentrisch symmetrischen Krystallen nachgewiesen, wobei sich die Verteilung positiver und negativer Elektrizität stets von der Art erwies, daß die Symmetrie durch dieselbe nicht gestört wurde. Nach den theoretischen Untersuchungen von Voigt ist bei diesen Experimenten ungleichmäßige Temperaturverteilung nicht ausgeschlossen, in deren Gefolge im Krystall Spannungen auftreten können, die zu piezoelektrischer Erregung führen. Doch konnte Voigt bei sorgfältiger Vermeidung ungleicher Erwärmung ebenfalls bei zentrisch symmetrischen Krystallen des trigonalen Systems (Calcit, Dolomit) und des rhombischen Systems (Baryt, Coelestin, Topas) pyroelektrische Erregung nachweisen, bei welcher stets kristallographisch gleiche Axenenden gleiche elektrische Ladungen beim Erwärmen zeigten.

Während bei der Untersuchung mit elektroskopischen Vorkehrungen die Verteilung der Elektrizitäten auf den Krystallen anschaulich zu machen unmöglich ist, gelingt dies nach der von Kundt angegebenen Bestäubungsmethode. Die in Erwärmung oder in Abkühlung begriffenen Krystalle oder Krystallplatten werden mit einem Pulver, das ein Gemenge von Schwefel und Mennige ist und durch ein Sieb von Baumwolle-Musselin fällt, bestäubt. Dabei wird Schwefel negativ, Mennige positiv elektrisch. An den bestäubten Stellen werden demnach die positiven Stellen gelb, die negativen rot. Die Druckelektrizität kann gleichfalls durch Bestäuben ersichtlich gemacht werden.

Fig. 493 zeigt das Ansehen eines sich abkühlenden Turmalinkrystalles nach dem Bestäuben. Der elektrisch neutrale Gürtel ist frei von Pulver. Fig. 494 gibt das Verhalten eines einfachen Quarzkrystalles unter denselben Umständen an. Die Kanten, an denen die Trapezflächen und Rhombenflächen auftreten, werden beim Abkühlen negativ, die damit abwechselnden positiv elektrisch. Da jedoch die Mehr-

Fig. 493.

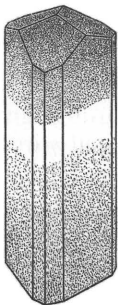


Fig. 495.

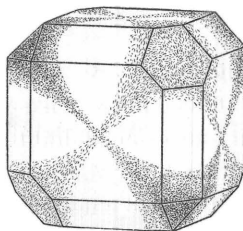
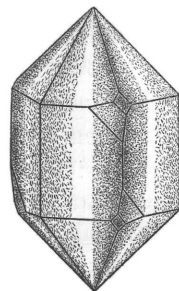


Fig. 494.



■ Mennige ▒ Schwefel

zahl der Quarzkrystalle aus mehreren Individuen besteht, so ergeben solche Krystalle nach dem Bestäuben oft bunte Zeichnungen. Fig. 495 liefert das Bild eines bestäubten Boracitkrystalles. Die Ecken mit den größeren, glatteren Flächen werden beim Abkühlen positiv, die anderen vier negativ elektrisch. Interessant ist die Beobachtung, daß der mimetische Boracit beim Erwärmen über 265° hinaus, da

er einfach brechend, also tesseral geworden (Vergl. Polymorphismus), keine Elektrizitätsentwicklung mehr zeigt. Gaugain fand, daß der Turmalin bei stärkerer Erhitzung nicht mehr elektrisch erscheint, weil er leitend wird und die beiden Elektrizitäten sich ausgleichen.

Hankel hat auch beobachtet, daß mancher Flußspat durch den Einfluß des Lichtes elektrisch erregt wird (Aktinoelektrizität), ferner, daß nicht nur die geleitete, sondern auch strahlende Wärme am Bergkrystall Elektrizität entwickelt.

Um die Leitungsfähigkeit nach verschiedenen Richtungen an Krystallen zu prüfen, bestreute Wiedemann die einzelnen Flächen derselben mit einem feinen, schlechtleitenden Pulver, z. B. Lykpodiumsamen, und teilte einer daraufgesetzten Nadelspitze Elektrizität mit. In der Richtung der besseren Leitung wird das Pulver stärker fortgeschleudert, und so bilden sich um die Nadelspitze entblößte Stellen, die entweder elliptisch oder kreisförmig sind. Es zeigte sich dieselbe Beziehung zur Krystallform wie bei den Sénarmontschen Versuchen über Wärmeleitung [136].

Lit. Rieß, Die Lehre von der Reibungselektrizität. Berlin, 1853. Köhler, Pogg. Ann., Bd. 17. G. Rose und Rieß, ebendas., Bd. 59. Hankel, Abhandlungen der math.-phys. Klasse d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss. von 1857 bis 1893. Friedel, Bulletin d. l. soc. minéralogique, Bd. 2, S. 31 (1879). Gaugain, Annales de chim. et phys. (3), Bd. 57, S. 5 (1859). Wiedemann, Pogg. Ann., Bd. 76, S. 77. J. u. P. Curie, Comptes rend., Bd. 102, S. 350 (1881). Kundt, Wiedem. Ann., Bd. 20, S. 592; Bd. 28, S. 145. Mack, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 8, S. 503 (Boracit). Kolenko, ebendas., Bd. 9, S. 1 (Quarz). Beijerinck, Jahrb. f. Min., Beilageb. 11, S. 403. (Leitfähigkeit). Röntgen, Wiedemann Ann., Bd. 18, S. 534. 1883, Bd. 19, S. 513, 1883. Van der Venn, Zeitschrift f. Kryst., Bd. 51, S. 545 (Piezo-Elektrizität). Voigt, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 46, S. 183. Über die theoretischen Untersuchungen von Riecke und Voigt, vergl. Voigt, Lehrbuch der Krystallphysik, S. 801 u. ff., 1910.

142. Galvanismus. Die Minerale, welche sehr gute Leiter der Elektrizität sind, vermögen unter bestimmten Bedingungen einen elektrischen Strom zu erregen. Man erkennt das Vorhandensein des Stromes am leichtesten durch die Ablenkung einer Magnetnadel, daher man sich für die folgenden Versuche eines Galvanometers bedient.

Werden zwei gutleitende Minerale, z. B. zwei von den Mineralen Kupfer, Kupferkies, Eisenkies, Bleiglanz, miteinander einerseits in Berührung gebracht, andererseits an den freien Enden mit einem Metalldraht verbunden, und wird hierauf die Berührungsstelle der beiden Minerale erwärmt, so erhält man einen Strom, dessen Gegenwart an einem in den Draht eingeschalteten Galvanometer erkannt wird (Thermoelektrizität). Auf solche Weise hervorgebrachte Ströme werden Thermoströme genannt. Die thermoelektrische Kraft des Elementes Pyrit-Kupferkies ist 7.62mal, des Elementes Bleiglanz-Pyrit ungefähr 13mal stärker als Wismut-Antimon. Wird heißes Kupfer mit krystallographisch verschiedenen Flächen in Berührung gebracht, so ist die Wirkung verschieden. Eisenglanzkrystalle geben bei Berührung der Endfläche weniger Strom als bei Berührung einer zur vorigen senkrechten Fläche, Arsenkies auf (101) mehr Strom als auf (110).

Wenn zwei der genannten Minerale einerseits miteinander in Berührung gebracht oder durch einen Draht verbunden werden, während die freien Enden

derselben in eine Salzlösung oder eine verdünnte Säure getaucht sind, so entsteht ein elektrischer Strom, der wie im vorigen Falle kontrolliert werden kann.

Da die Berührung leitender Minerale auf Erzgängen nicht selten vorkommt und solche Minerale auf ihrer Lagerstätte von Lösungen bespült werden, so ist die Möglichkeit galvanischer Ströme auf Erzgängen vorhanden. Dies ist von einiger Bedeutung, weil solche Ströme bekanntlich die Lösungen zersetzen, also chemische Veränderungen hervorrufen.

Die Leitfähigkeit für den galvanischen Strom ist dieselbe wie für die Reibungselektrizität. Aus den Zahlen, welche man durch Beobachtungen des Stromes in guten Leitern erhalten hat, ergibt sich, daß die Leitfähigkeit für die Elektrizität dieselbe ist wie für Wärme. Wird wiederum die Leitfähigkeit des Silbers = 100 gesetzt, so geben die von Matthiessen für die Elektrizität erhaltenen Zahlen die erste Kolumne, während in der zweiten die früher [136] von Wiedemann und Franz für Wärme erhaltenen angeführt sind.

Silber	100·0	100·0	Eisen	14·4	11·9
Kupfer	77·4	73·6	Blei	7·8	8·5
Gold	55·9	53·2	Platin	10·5	8·4
Zinn	11·5	14·5	Wismut	1·2	1·8

Um zu erkennen, ob ein Mineral zu den guten Leitern gehört, nimmt man nach Kobell ein frischgeschlagenes Stückchen zwischen die Enden eines hufeisenförmig gebogenen Zinkstreifens (Zinkkluppe) und taucht es in eine Lösung von Kupfervitriol. Gute Leiter, wie Schwefelkies, Bleiglanz, Magnetit, bedecken sich mit einer Schicht von gediegenem Kupfer.

Die Leitfähigkeit für den galvanischen Strom in Krystallen ist nach krystallographisch verschiedenen Richtungen ungleich, z. B. in Eisenglanzkrystallen nach der Hauptaxe kleiner als senkrecht dazu. Das Verhältnis ändert sich aber mit der Temperatur.

Bäckström, Zeitschr. f. Krist., Bd. 17, S. 424, 425. Abt, Ann. d. Phys., 4., Bd. 2, S. 266. F. M. Jaeger, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 44, S. 45 (Lit. über Leitungswiderstand).

143. Röntgenstrahlen. Läßt man die Entladungen einer Induktionsspule zwischen Platinplättchen (Elektroden) durch ein verdünntes Gas strömen, welches in einer geschlossenen Glasröhre enthalten ist (Geißlersche Röhre), so wird das Gas leuchtend und das Licht liefert, spektroskopisch untersucht, die charakteristischen Spektrallinien des betreffenden Gases. Treibt man die Verdünnung im Glasgefäß weiter, so verschwindet die Lichterscheinung, aber von der Eintrittsstelle des negativen elektrischen Stromes, der Kathode, gehen nun dunkle, unsichtbare Strahlen geradlinig aus (Kathodenstrahlen), welche die der Kathode gegenüberliegende Glaswand in lebhaftes Fluoreszenz versetzen und sie erwärmen. Die Theorie erblickt in diesen Kathodenstrahlen mit großer Geschwindigkeit ausgeschleuderte negativ elektrische Teilchen, Elektronen.

Von der Stelle, wo die Kathodenstrahlen die Glaswand treffen, oder noch besser von einem ihrem Lauf entgegengesetzten Platinplättchen, gehen nach der

Entdeckung von Röntgen Strahlen aus, die man daran erkennt, daß sie starke Fluoreszenz erregen, daß sie auf die photographische Platte wirken und die Luft für den elektrischen Strom leitend machen. Sie durchdringen nicht nur durchsichtige Körper wie die Glaswand der Geißlerschen Röhre, sondern auch undurchsichtige Körper wie Holz, ja auch dünne Metallschichten. Die Röntgenstrahlen werden nicht regelmäßig reflektiert und nicht gebrochen; doch zeigen sie Spuren von Polarisationserscheinungen. Es hat sich gezeigt, daß die Durchlässigkeit der Körper mit steigendem Atomgewicht abnimmt. So ist ein Aluminiumblech von 3·5 mm Dicke ebenso durchlässig wie ein Platinblech von 0·018 mm. Besonders durchlässig erweist sich der Diamant und er kann dadurch von den schwere Metalle enthaltenden Silikatgläsern, die zu dessen Verfälschung benützt werden, unterschieden werden.

Nach der Theorie nimmt man an, daß die Röntgenstrahlen aus Impulsen bestehen, die sich im Äther mit einer Geschwindigkeit fortpflanzen, die mit der Lichtgeschwindigkeit ungefähr gleich ist; dagegen ist die Zahl der Impulse in der Sekunde vielmal größer als die Schwingungszahl der Lichtwellen.

In letzter Zeit wurde gezeigt, daß ein dünnes Bündel von Röntgenstrahlen beim Durchgang durch eine Krystallplatte eine regelmäßige Beugung und Interferenz erfährt, so daß man auf einer hinter dem Krystall aufgestellten photographischen Platte außer dem direkten Bild eine Gruppe von Nebenbildern erhält, die bei senkrechter Durchstrahlung einer Platte parallel einer Würfelfläche eines tesserale Krystalls (Zinkblende, Steinsalz) eine tetrasymmetrische Anordnung, bei einer Tetraederplatte (Zinkblende) eine trisymmetrische erkennen lassen. Bei Durchstrahlung einer Platte von Kupfervitriol (triklin) wurde eine unsymmetrische Anordnung der Nebenbilder beobachtet. Die Erscheinung wird durch Beugung an dem raumgitterartig angeordneten Krystallmolekeln und Interferenz der durch Beugung abgelenkten Strahlen erklärt; man darf darin einen wichtigen Nachweis für die raumgitterartige Struktur der Krystalle erblicken.

Doelter, Jahrb. Min. 1896, II, S. 87 (Durchlässigkeit). Friedrich, Knipping u. Laue. Bayr. Akad. Sitzb. 1912, S. 303 und 363 (Interferenz).

144. Becquerelstrahlen, Radioaktivität. Becquerel entdeckte die seltsame Erscheinung, daß von Uranverbindungen unausgesetzt Strahlen ausgehen, welche undurchsichtige Körper durchdringen, Fluoreszenz wecken, auf die photographische Platte wirken und die Luft für Elektrizität leitend machen. Von dem Ehepaare Curie wurde gezeigt, daß diese Strahlung besonders intensiv von Stoffen ausgeht, die in winzigen Quantitäten im Uranpecherz vorkommen, nämlich von dem Element Radium und dem Element Polonium. Ähnliche Strahlungen sind dann noch von einer Reihe anderer Stoffe bekannt geworden, die sich an das Thorium und an das Aktinium anschließen. Die genauere Erforschung hat gezeigt, daß von diesen radioaktiven Elementen dreierlei Arten von Strahlen ausgehen, die α -Strahlen, die eine geringe Reichweite besitzen und aus positiv elektrisch geladenen Teilchen bestehen, β -Strahlen, die eine größere Reichweite haben, sich wie Kathodenstrahlen verhalten und aus negativen elektrischen Teilchen bestehen, endlich

γ -Strahlen mit großer Reichweite, die mit den Röntgenstrahlen identisch zu sein scheinen. *) Außer dem Uranpecherz, dem Bröggerit und Cleveit sind noch die Minerale Zirkon, Orthit, Thorianit, mancher Pyromorphit und andere durch Radioaktivität ausgezeichnet.

Diese Strahlungen vermögen in Mineralen Farbenveränderungen hervorzu- bringen. Eigentümliche runde intensiv gefärbte Flecken von 0.02 bis 0.04 mm Halbmesser, die in Biotit, Hornblende, Cordierit, Chlorit und anderen Mineralen um mikroskopische Einschlüsse von Zirkon, Orthit, selten von Apatit sichtbar sind und pleochroitische Höfe genannt werden, sind auf die von jenen Ein- schlüssen ausgehenden α -Strahlen zurückzuführen,

J. Joly, Phil. Mag. März 1907, April 1910. O. Mügge, Zentr. f. Min. 1907, S. 397; 1909, S. 65, 113, 142. C. Doelter, Das Radium und die Farben. Dresden 1910. G. Hövermann, Jahrb. Min. Beil. Bd. 34, S. 321. Lit. R. Brauns, Fortschritte der Min. Bd. 1, S. 127. F. E. Sueß, Mitt. der Geol.-Ges. Wien, Bd. 5, S. 87.

145. Magnetismus. Manches Magneteisenerz, und zwar immer solches, das in einer beginnenden Veränderung begriffen ist, hat die Eigenschaft, Eisenfeilspäne anzuziehen und festzuhalten. Wird ein solches Stück an einem Faden aufgehängt, so orientiert sich dasselbe wie eine Magnetnadel. Auch ohne diesen Versuch erfährt man durch Prüfung mit einer Magnetnadel aus der Anziehung und Abstoßung, daß ein Nord- und Südpol vorhanden ist, daß also das Mineral polarmagnetisch ist. Kein anderes Mineral zeigt diese Eigenschaft in solchem Grade. Manches Platin, mancher Magnetkies lassen einen schwachen polaren Magnetismus erkennen.

Einige Minerale wirken auf beide Pole der Magnetnadel anziehend und werden von einem kräftigen Magneten angezogen, verhalten sich also wie Eisen, zeigen einen einfachen Magnetismus. Die Anziehung ist am stärksten am Eisen, gut erkennbar am gewöhnlichen Magneteisenerz und am Magnetkies, schwieriger am Eisenglanz, Roteisenerz.

Zur Prüfung von geringen Graden des einfachen Magnetismus wird nach Hauy eine Magnetnadel angewendet, deren einem Pol der gleichnamige eines Magnetstabes in der Richtung der Axe genähert wurde, so daß die Nadel auf dem Punkte ist, infolge der Abstoßung umzuschlagen. (Doppelter Magnetismus.) Eine in solcher Art empfindlich gemachte Nadel gibt Ausschläge bei Annäherung sehr schwach magnetischer Körper.

Nach dem Glühen oder Schmelzen werden Minerale von beträchtlichem Eisengehalte, wie z. B. dunkler Granat, Augit, einfach magnetisch, daher bedient man sich öfter der Magnetnadel bei der Bestimmung der Minerale.

Gesteine, in welchen Magneteisenerz in erheblicher Menge vorhanden ist, wirken oft schon in größerer Entfernung auf die Magnetnadel, zuweilen macht

*) Die Erscheinungen werden in der Weise gedeutet, daß die mit einem sehr hohen Atomgewicht ausgestatteten radioaktiven Elementaratome einem allmählichen Zerfall unterliegen, wobei die neu entstehenden Bruchstücke zum Teil mit ungeheurer Geschwindigkeit ausgestoßen werden, andererseits bei dieser Gelegenheit im Äther Impulse nach Art der Röntgenstrahlen entstehen.

sich an einzelnen Gesteinsblöcken oder in ganzen Bergen ein polarer Magnetismus bemerklich in der Weise, daß zwei oder eine größere Anzahl von Polen durch die Magnetnadel daran erkannt werden.

Der einfache Magnetismus, welcher nach den früheren Erfahrungen bloß einigen wenigen Mineralen eigentümlich zu sein schien, ist aber, wie Faraday zeigte, eine allgemeine Eigenschaft der Körper, indem die einen vom Magnete angezogen werden, paramagnetisch sind, während die anderen vom Magnete abgestoßen werden, diamagnetisch sind. Zur Untersuchung dieses Verhaltens dienen sehr kräftige Elektromagnete, welchen die zu untersuchenden Körper als Krystalle oder in der Form von Kügelchen oder Stäbchen ausgesetzt werden. Kügelchen werden von den einzelnen Polen angezogen oder abgestoßen, Stäbchen stellen sich zwischen den Polen im Falle der Anziehung mit ihrer Längsaxe in die Verbindungslinie der Pole (axial) oder im Falle der Abstoßung senkrecht zur vorigen Richtung (äquatorial). An einem und demselben Krystall können verschiedene Grade der Anziehung oder Abstoßung vorkommen, bisweilen Anziehung in der einen, Abstoßung in der anderen Richtung. Durch die Versuche von Faraday, Plücker, Grailich und v. Lang wurde gezeigt, daß die Verteilung der magnetischen Wirkung in den Krystallen vollständig der Symmetrie des Baues entspricht.

Tesserale Krystalle werden nach allen Richtungen in gleichem Grade angezogen oder abgestoßen. So z. B. verhält sich das tesserale Magneteisenerz nach allen Richtungen gleich paramagnetisch. Krystalle von wirteligem Baue verhalten sich in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen gleich, parallel zur letzteren aber anders. Spateisenstein (trigonal), Turmalin (trigonal) und Vesuvian (tetragonal) sind paramagnetisch, doch stellt sich die Hauptaxe bei dem ersten axial, bei den beiden anderen äquatorial. Wismut und Kalkspat, beide trigonal und diamagnetisch, orientieren sich verschieden, das erste stellt die Hauptaxe axial, der zweite äquatorial. Die Krystalle von einfacherem Baue zeigen in drei zueinander senkrechten Richtungen stets verschiedenes Verhalten. Am Aragonit (rhombisch), welcher diamagnetisch ist, wurden die größten Unterschiede der Abstoßung bemerkt, als die Wirkung parallel den drei Krystallaxen geprüft wurde. Die aufrechte Axe c wirkt am stärksten, die Längsaxe a am schwächsten.

Die Ebene, in welcher die Richtung der stärksten und jene der schwächsten Wirkung liegt, ist der Ebene der optischen Axen analog. Sie liegt aber in den rhombischen Krystallen bald parallel, bald senkrecht zur letzteren. Bei monoklinen Krystallen fällt eine von den magnetischen Hauptrichtungen mit der b -Axe zusammen. Die anderen beiden liegen in der Medianebene unter schiefen Winkeln gegen die Krystallaxen. Mit den optischen Hauptschwingungsrichtungen zeigt sich keine erkennbare Beziehung.

Amorphe Minerale verhalten sich wie die tesseralen. Durch Pressung erhalten sie jedoch eine bestimmte Orientierung, ähnlich wie bei der Einwirkung der Wärme und des Lichtes.

Eine wichtige Anwendung des Magnetismus findet bei der Trennung von Mineralgemengen statt. Seit langer Zeit bedient man sich des gewöhnlichen Huf-

eisenmagnetes, um gediegenes Eisen aus dem Pulver der Meteoriten oder um das Magneteisenerz oder den Magnetkies aus dem Pulver der Gesteine herauszuziehen. Fouqué hat zuerst den Elektromagneten angewendet, um nach dieser Operation fernere eisenhaltige Minerale, wie Augit und Olivin, von den eisenfreien, wie die Feldspate, zu trennen.

Plücker, Pogg. Ann., Bd. 72, 74, Philos. Transactions. f. 1858. Greiß, Pogg. Ann., Bd. 98. Faraday, Experimental researches, Ser. 22. Knoblauch und Tyndall, Pogg. Ann., Bd. 81. Grailich u. v. Lang, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 32, S. 43. Fouqué, Mémoires d. l. Académie fr., Bd. 22, Nr. 11. Voigt und Kinoshita, Ann. d. Physik [4] Bd. 24. Kunz, Jahrb. f. Min. 1907, I, S. 62. V. Quittner, Archiv. scienc. phys. et nat. tome 26. Nr. 10 u. 11. W. Finke, Ann. d. Physik [4] Bd. 31, S. 149.

146. Bei allen bisher erörterten physikalischen Eigenschaften der Krystalle kommt die Richtung in Betracht, in welcher die betreffende Erscheinung beobachtet oder gegebenen Falles gemessen wird, und es gilt das schon in der Einleitung [70] angeführte Grundgesetz der Krystallphysik: In krystallographisch gleichen Richtungen verhalten sich die Krystalle auch in physikalischer Beziehung gleich.

Daraus darf man aber nicht folgern, daß nun alle krystallographisch unterscheidbaren Richtungen sich auch physikalisch unterscheiden müssen; in dieser Beziehung verhalten sich die verschiedenen Arten physikalischer Eigenschaften nicht übereinstimmend, und es zeigt sich bei ihnen ein recht verschiedenes Maß der Abhängigkeit der meßbaren physikalischen Größen von der Richtung im Krystall.

Bei einer großen Gruppe von physikalischen Eigenschaften ist der Zusammenhang von der Art, daß sich die der Messung zugänglichen physikalischen Größen durch eine sehr einfache geometrische Fläche darstellen lassen, deren Radienvektoren die Größe der betreffenden Eigenschaft für die durch den Radiusvektor bestimmte Richtung angeben. Diese Fläche hat bei den tesseraleen Krystallen (sowie bei homogenen amorphen Körpern) die Gestalt einer Kugel, bei trigonalen, tetragonalen, hexagonalen Krystallen die Gestalt eines Rotations-Ellipsoids, dessen Rotationsaxe mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt, bei den rhombischen monoklinen und triklinen Krystallen die Gestalt eines dreiaxigen Ellipsoids, dessen drei zueinander senkrechte Hauptrichtungen im rhombischen Krystallsystem mit den drei Krystallaxen zusammenfallen, während im monoklinen Krystallsystem nur eine der Hauptrichtungen mit der krystallographischen *b*-Axe übereinstimmt, wogegen die beiden anderen irgendwie senkrecht zueinander in der Medianebene angeordnet sind, endlich im triklinen System keine bestimmte Lage zu den Krystallaxen zeigen.

Zu diesen physikalischen Eigenschaften (Ellipsoid-Eigenschaften) gehören: Die Erscheinungen der Polarisation und Doppelbrechung, soweit sie sich durch die Indikatrix darstellen lassen, die Erscheinungen der Absorption des Lichts (Pleochroismus), die Ausdehnungskoeffizienten, die Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektrizität, die thermoelektrische Erregbarkeit, die magnetische Induktion.

Die Pyroelektrizität läßt mit ihrem Gegensatz von positiv und negativ elektrischer Ladung den Unterschied von Richtung und Gegenrichtung erkennen und ist infolge dessen in inniger Beziehung zu jenen Krystallklassen, welche polare Symmetrieachsen und kein Zentrum der Symmetrie besitzen.

Eine eigentümliche Stellung nehmen die elastischen Eigenschaften ein. Die wechselnden Werte des Elastizitätsmoduls können auch durch die Radienvektoren einer geschlossenen Oberfläche dargestellt werden. Diese Oberfläche hat aber unter allen Umständen, da die Natur der elastischen Dehnung einen Unterschied von Richtung und Gegenrichtung ausschließt, ein Symmetriezentrum. Infolgedessen zeigen alle Krystallklassen, die sich voneinander nur durch den Mangel oder das Vorhandensein eines Symmetriezentrums unterscheiden, jeweils in ihrer Symmetrie übereinstimmende Elastizitätsflächen. Doch sind hier bereits Unterschiede erkennbar, die bei den Ellipsoideigenschaften nicht zu Tage treten, wie z. B. die Normalen von Würfelflächen und Oktaederflächen sich in elastischer Beziehung unterscheiden, während sie in bezug auf die aufgezählten Ellipsoideigenschaften sich gleich verhalten.

Der Zusammenhang der Kohäsion (Festigkeit) und Härte mit der Symmetrie der Krystalle wird dadurch verwickelt, daß hier nicht nur eine Richtung im Raum, sondern auch die Fläche, auf der die Prüfung vorgenommen wird, in Betracht kommen.

Die innigsten Beziehungen zur Symmetrie der Krystallform zeigt aber die Auflösungsgeschwindigkeit. Namentlich in der Erscheinung der Ätzfiguren zeigt sich eine so vollkommene Übereinstimmung der Symmetrie der Krystallform mit der Symmetrie der Erscheinung, daß hier auch die Umkehrung des Grundgesetzes der Krystallphysik gilt, und jeder krystallographisch unterscheidbaren Richtung auch ein Unterschied im Verhalten bei der Ätzung entspricht.

Eine physikalische Eigenschaft gibt es, welche in der üblichen Weise geprüft, gar keine Beziehung zur Richtung erkennen läßt, das Volumgewicht, dessen Bestimmung im nächsten Abschnitt behandelt wird.

147. Bestimmung des spezifischen Gewichtes. Das Gewicht der Volumeneinheit: spezifisches Gewicht, Eigengewicht, Volumgewicht, ist für jedes einfache Mineral eine bestimmte Größe, wofern immer bei derselben Temperatur gewogen wird. Nimmt man als Volumeneinheit den Kubikzentimeter, als Gewichtseinheit das Gramm, so sind die Zahlen für das spezifische Gewicht dieselben wie für die Dichte, wofern man unter dieser das Verhältnis zwischen dem Gewichte eines Körpers und dem Gewichte eines gleich großen Volumens reinen Wassers versteht.

Von den Methoden der Bestimmung des spezifischen Gewichtes sind gegenwärtig mehrere im Gebrauche, welche durch die Anwendung der hydrostatischen Wage, des Pyknometers und der schweren Flüssigkeiten bezeichnet werden.

Die hydrostatische Wage erlaubt, das absolute Gewicht M des zu prüfenden Minerals zu bestimmen, ferner das Mineral mittels eines dünnen Fadens an die eine Wagschale zu hängen und nach hergestelltem Gleichgewichte das Mineral in reines Wasser zu tauchen. Da jetzt die Wagschale steigt, das Mineral infolge des

Auftriebes leichter geworden zu sein scheint, so hat man, um wiederum Gleichgewicht herzustellen, auf die Wagschale, an welcher das Mineral hängt, ein Gewicht a aufzulegen. Das spezifische Gewicht ist demnach:

$$s = M : a.$$

Bei der Anwendung dieser Methode ist darauf zu achten, daß das angewandte Mineral ein Aussehen besitzt, welches das Vorhandensein von fremden Beimengungen oder von Hohlräumen ausschließt. An dem eingetauchten Stücke sollen keine Luftbläschen haften. Man vermeidet sie dadurch, daß man das Stück vor dem Eintauchen mit Wasser einreibt. Die Vorschläge von A. Gadolin und von Tschermak, statt der Gewichte einen Läufer, wie bei der römischen Wage, anzuwenden, ferner der Vorschlag von Jolly, die Wage samt Gewichten durch eine schraubenförmige Feder zu ersetzen, haben den Zweck, in den Fällen, da eine beiläufige Bestimmung hinreicht, die hydrostatische Wage und auch die Gewichte zu ersparen. Anstatt das Mineral direkt in das Wasser zu hängen, kann man auch kleinere Bruchstücke desselben in ein offenes Gläschen tun und für dieses, so lange es leer und vollständig in Wasser getaucht ist, den Auftrieb bestimmen und ebenso wenn es das Mineral enthält. Die Differenz ergibt den Auftrieb für das gewogene Mineral.

Die am häufigsten benutzte Methode ist die des konstanten Glases oder Pyknometers. Letzteres ist ein niederes Fläschchen, welches mit einem eingeschliffenen Stöpsel, der einen feinen Kanal hat, genau geschlossen werden kann. Das Gewicht P des mit Wasser gefüllten Pyknometers hat man ein für allemal bestimmt. Das Mineral wird in der Form feiner Splitter oder in Pulverform angewendet. G. Rose hat gezeigt, daß die Befürchtung, im letzteren Falle zu hohe Zahlen zu erhalten, nicht begründet sei.

Wenn das Mineral, dessen Gewicht M , in das leere Pyknometer eingetragen, der übrige Raum genau mit Wasser gefüllt und das Gewicht G des Ganzen ermittelt wird, so ist:

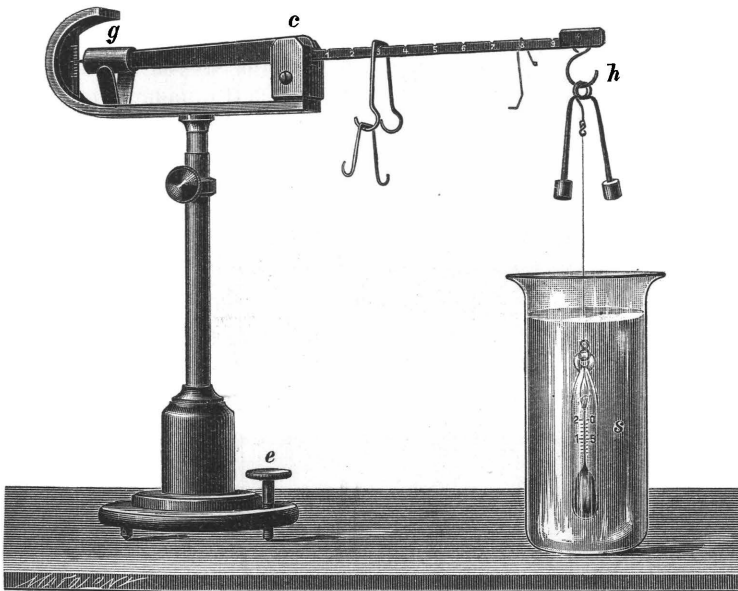
$$s = \frac{M}{P + M - G}.$$

Bei dieser Art der Bestimmung wird man wieder die Reinheit des Mineralen berücksichtigen, doch ist dieselbe durch Auslesen der Splitter zu erreichen, auch werden etwa vorhanden gewesene Höhlungen dadurch unschädlich gemacht. Im übrigen wird man vorzüglich darauf achten, daß bei der Bestimmung von P und G genau dasselbe Verfahren und bei den beiden Füllungen mit Wasser dieselbe Temperatur beobachtet wird. Zur Entfernung der dem Mineral anhängenden Luftblasen bringt man das Pyknometer in die Luftpumpe oder kocht aus. Mittels des Pyknometers können auch Minerale, die ein geringeres spezifisches Gewicht als das Wasser besitzen, geprüft, ferner kann auch das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten bestimmt werden. Im letzteren Falle hat man bloß das Gewicht F des mit dem flüssigen Mineral erfüllten Pyknometers zu bestimmen und auch das leere Pyknometer, dessen Gewicht L wäre, zu wägen; und es ist

$$s = \frac{F - L}{P - L}.$$

Auch eine hydrostatische Methode kann zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten angewendet werden und speziell für die weiterhin anzuführenden schweren Lösungen, deren Dichte unter 4 liegt, kann man sich der Westphalschen Wage, Fig. 496, mit Vorteil bedienen. Diese zeigt an dem einen Ende des Wagebalkens ein Gewicht g , welches dem an dem anderen Ende angehängten Senkel s das Gleichgewicht hält, solange dieser in Luft schwebt. Wird der Senkel in reines Wasser getaucht, so steigt er infolge des Auftriebes und man hat ein Gewicht a an das Häkchen bei h zu hängen, um wieder Gleichgewicht herzustellen. Wird der Senkel in eine Flüssigkeit von der Dichte 2 getaucht, so werden bei h zwei solche Gewichte anzuhängen sein. Für die Dichte 3 hat man ein Gewicht im Betrage von $3a$ vorrätig. Zur Bestimmung der Dezimalen dienen reiterförmige

Fig. 496.



Gewichte, die auf den mit einer Zehntelteilung versehenen Wagebalken zwischen h und c aufgesetzt werden. In der Figur ist der Versuch mit einer Flüssigkeit, deren Dichte 3,338, veranschaulicht. In dem Senkel s ist ein Thermometer eingeschlossen, welches angibt, ob die Temperatur von 15° C eingehalten wurde, für welche das Instrument richtige Zahlen gibt.

Das spezifische Gewicht von Mineralen, welche im Wasser löslich sind, wird nach einem der zuerst genannten Verfahren bestimmt, indem man als Flüssigkeit Weingeist oder Steinöl anwendet und die erhaltene Zahl mit dem spezifischen Gewicht der angewandten Flüssigkeit multipliziert.

148. Das spezifische Gewicht vieler Minerale läßt sich auch durch Beobachtung des Schwimmens in schweren Lösungen ermitteln. Das Mineral wird in kleinen Stückchen oder in Pulverform in eine solche Lösung gebracht, auf der es anfänglich

oben schwimmt. Durch Verdünnen der Lösung und Umrühren gelangt man zu dem Punkte, da das Mineral an jedem Punkte innerhalb der Lösung schwimmt und dabei weder steigt noch fällt. Nunmehr wird die Dichte der Lösung, welche jetzt gleich der des Minerals geworden, mit der Westphalschen Wage bestimmt. Nach dieser Methode fällt das Abwägen des Minerals weg und es kann die Bestimmung der Dichte auch an winzigen Splintern ausgeführt werden.

Für Minerale bis zu dem spezifischen Gewichte von 3·19 hat Thoulet nach dem Vorgange von Sonnstadt und Church eine Lösung von Kaliumquecksilberjodid vorgeschlagen, welche im Maximum $s = 3·196$ zeigt, während Klein die Lösung von Cadmiumborowolframat empfiehlt, welche im konzentriertesten Zustande $s = 3·298$ hat. Letztere ist nicht so giftig wie die vorige, doch löst sie gediegen Eisen und zersetzt Carbonate. Baryumquecksilberjodid ($s = 3·57$) wurde von Rohrbach, Methylenjodid ($s = 3·3$) von Feußner und Brauns vorgeschlagen.

Die Methode der schweren Flüssigkeiten eignet sich vorzüglich zur Trennung der Mineralgemenge, wie sie in den Felsarten vorkommen. Das Gesteinpulver wird in die Lösung gebracht, welcher man durch Verdünnen allmählich verschiedene Dichten erteilt. Ist diese 2·6, so wird Orthoklas, dessen $s = 2·57$, darauf schwimmen, während Quarz, dessen $s = 2·65$, darin untersinkt. Goldschmidt bedient sich zur Anzeige des spezifischen Gewichtes der Lösung der Indikatoren kleiner Mineralstückchen von bekanntem spezifischen Gewichte in absteigender Folge, welche der Reihe nach zum Sinken kommen. Dölter verbindet die Methode der Lösungen mit der von Fouqué angegebenen Scheidung mittels des Elektromagneten.

Im folgenden sind einige wichtige Minerale nach steigendem spezifischen Gewichte angeordnet.

0·6 . .	1·0	Steinöl, Erdwachs, Wasser.
1·0 . .	1·5	Harze, Kohlen, Soda, Glaubersalz.
1·5 . .	2·0	Alaun, Borax, Salpeter, Salmiak, Eisenvitriol.
2·0 . .	2·5	Gyps, Steinsalz, Leucit, Zeolithe, Graphit, Schwefel.
2·5 . .	2·8	Quarz, Feldspate, Nephelin, Beryll, Serpentin, Talk, Calcit.
2·8 . .	3·0	Aragonit, Dolomit, Anhydrit, Tremolit, Glimmer, Boracit.
3·0 . .	3·5	Fluorit, Apatit, Hornblenden, Augite, Olivin, Epidot, Turmalin, Topas, Diamant.
3·5 . .	4·0	Siderit, Malachit, Azurit, Limonit, Korund.
4·0 . .	4·5	Baryt, Rutil, Chromit, Kupferkies, Blende.
4·5 . .	5·5	Eisenglanz, Pyrit, Markasit, Antimonit, Fahlerz.
5·5 . .	6·5	Magnetit, Cuprit, Misspickel, Kupferglanz, Rotgiltigerz.
6·5 . .	8·0	Weißbleierz, Zinnstein, Bleiglanz, Silberglanz, Eisen.
8·0 . .	10·0	Zinnober, Kupfer, Wismut.
10·0 . .	14·0	Silber, Blei, Quecksilber.
15·0 . .	21·0	Gold, Platin.
21·0 . .	23·0	Iridium.

Die Übersicht lehrt, daß die Mehrzahl der Minerale, welche die Erdrinde zusammensetzen und in großen Mengen vorkommen, ein spezifisches Gewicht

zwischen 2·0 und 3·5 haben, also bedeutend kleiner als das mittlere spezifische Gewicht des ganzen Erdballs, das durch physikalische und astronomische Messungen zu $5\frac{1}{2}$ bestimmt wurde.

Lit. Kohlrausch, Praktische Regeln zur genaueren Bestimmung des spezifischen Gewichtes, Marburg, 1856. G. Rose, Pogg. Ann., Bd. 73, S. 1. Schröder, ebendas., Bd. 106, S. 226. Gadolin, ebendas., S. 213. Autor. Sitzungsber. d. W. Ak., Bd. 47. V. Thoulet, Bull. soc. min., Bd. 2, S. 189. Klein, ebendas., Bd. 4, S. 149. Goldschmidt, Jahrb. f. Min., 1881, Beilagebd. 1, S. 179. Dölter, Sitzungsber. d. W. Ak., Bd. 85, S. 47. Eine Übersicht der Angaben des spezifischen Gewichtes der Minerale lieferte Websky in den Mineralog. Studien, Bd. 1, Breslau, 1868.

III. Mineralchemie.

149. Chemische Eigenschaften. Veränderungen, die sich an Mineralen vollziehen, sind zum Teil solche, bei denen bloß die Form oder der Aggregationszustand wechselt, zum Teile aber jene, bei welchen aus den ursprünglichen Mineralen Körper mit neuen Eigenschaften hervorgehen. Man sagt in diesem Falle, daß die Substanz geändert wurde, und nennt letztere Veränderungen substanzielle, die Erscheinungen aber, unter welchen diese eintreten, chemische Reaktionen. Die Fähigkeit eines Körpers, unter bestimmten Umständen eine solche Erscheinung hervorzurufen, wird als eine chemische Eigenschaft bezeichnet.

Wenn Kalkspat durch Glühen verändert wird, so bilden sich daraus zwei Körper mit neuen Eigenschaften: ätzender Kalk, der als starrer Körper zurückbleibt, und Kohlendioxyd, ein flüchtiger, gasförmiger Körper. Wenn Wasser durch den galvanischen Strom verändert wird, so bilden sich daraus zwei gasförmige Körper: Wasserstoffgas und Sauerstoffgas. Obwohl die Produkte von ganz anderer Beschaffenheit sind, so pflegt man doch zu sagen, die beiden Minerale Kalkspat, Wasser, seien in ihre Bestandteile zerlegt worden.

Es ist eine chemische Eigenschaft des Kalkspates, in der Hitze sich in Kalk und in Kohlendioxyd zu zerlegen, eine chemische Eigenschaft des Wassers, durch den galvanischen Strom in Wassertoff und Sauerstoff zu zerfallen. Unter Kalk, Kohlendioxyd, Wasserstoff, Sauerstoff sind hier bloß die Stoffe an sich gemeint, ganz abgesehen davon, ob sie gasförmig, fest oder flüssig erscheinen.

Die mit Absicht herbeigeführte Zerlegung wird Analyse genannt. Man unterscheidet jene Zerlegung, die nur den Zweck hat, die Bestandteile der geprüften Körper nachzuweisen, als qualitative Analyse, während jene Zerlegung, bei welcher der ursprüngliche Körper und die erhaltenen Produkte dem Gewichte nach bestimmt werden, um das Gewichtsverhältnis der Bestandteile zu ermitteln, die quantitative Analyse genannt wird.

Der Zerlegung ist die Vereinigung oder Verbindung entgegengesetzt. Bei dieser wird aus mehreren Stoffen ein neuer gebildet, welcher nun eine höhere Einheit darstellt. Wenn Schwefel in Sauerstoffgas erhitzt wird, so verbrennt er mit

blauer Flamme und verschwindet ganz. Aus demselben und aus dem Sauerstoff hat sich ein stechend riechendes Gas, Schwefeldioxyd, gebildet. Es ist demnach eine chemische Eigenschaft des Schwefels, bei höherer Temperatur mit dem Sauerstoff eine gasförmige Verbindung einzugehen.

Die Erfüllung der Bedingungen, unter welchen eine chemische Vereinigung von Stoffen platzgreift, wird Synthese genannt. Verbindung und Zerfall sind entgegengesetzte Vorgänge, die miteinander wechseln können. Eine Mischung von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in dem bei der Analyse gefundenen Gewichtsverhältnis gibt bei der Entzündung durch einen glühenden Körper oder durch den elektrischen Funken Wasser. Durch Überleiten von Kohlendioxydgas über Kalk entsteht wiederum ein Körper von den chemischen Eigenschaften des Kalkspates. Da die Gewichtsverhältnisse bei der Zerlegung und Vereinigung dieselben sein müssen, so dient die Synthese zur Kontrolle der Analyse und umgekehrt. Beide Methoden wechseln daher bei den chemischen Operationen beständig ab. Das Endergebnis derselben ist die Kenntnis der Art und Menge der Bestandteile oder der chemischen Zusammensetzung. Diese kann durch Worte ausgedrückt oder durch vereinbarte Zeichen dargestellt werden, welche die chemische Formel bilden.

Lit. Dammer, Handbuch der anorganischen Chemie, 4 Bde., Stuttgart, 1892–1902. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie, Leipzig, 1896, und Grundlinien der anorganischen Chemie, 1900. Erdmann, Lehrbuch der anorganischen Chemie, Braunschweig, 1902, Spezielle Werke: Rammelsberg, Handbuch der Mineralchemie, 2. Aufl., Leipzig, 1875, mit Ergänzungsheften, 1886 und 1895. Arzruni, Physikalische Chemie der Krystalle, Braunschweig, 1893. Brauns, Chemische Mineralogie, Leipzig, 1896. Doelter, Physikalisch-chemische Mineralogie, Leipzig 1905, und Handbuch der Mineralchemie, Dresden 1911 u. folg. Jahre. Groth, Einleitung in die chemische Krystallographie, Leipzig 1904. Chemische Krystallographie, 4 Bände, Leipzig 1906–1910.

150. Einfache Stoffe. Durch Fortsetzung der Analyse gelangt man zu einer Grenze, welche weder durch ein direktes, noch durch ein indirektes Verfahren überschritten werden kann. Man erhält schließlich Stoffe, welche unseren Mitteln gegenüber unzerlegbar sind und welche demnach als einfache Stoffe oder als letzte Bestandteile oder Elemente bezeichnet werden. Die bei der Analyse des Wassers erhaltenen beiden Stoffe, nämlich der Wasserstoff und der Sauerstoff, sind nicht weiter zerlegbar, sind also Elemente. Die Analyse des Kalkspates liefert Kohlendioxyd und Kalk. Beide Körper sind aber noch weiter zerlegbar, und zwar geht dies aus den synthetischen Versuchen hervor. Man weiß nämlich, daß durch Verbrennung der Kohle, bei welcher die Kohle sich mit Sauerstoff vereinigt, Kohlendioxyd entsteht, ferner, daß durch Verbindung des Metalles Calcium mit Sauerstoff Kalk gebildet wird. Daraus wird geschlossen, daß der Kalkspat aus Calcium, Kohlenstoff und Sauerstoff besteht. Diese sind aber einfache Stoffe.

Bisher sind ungefähr 80 einfache Stoffe aufgefunden worden. Darunter bilden zwei, nämlich der Wasserstoff und der Sauerstoff, gleichsam die Muster und den Maßstab für die übrigen. Nach dem Verhalten zu diesen beiden werden die anderen klassifiziert.

Die wichtigeren mögen hier aufgezählt werden:

1. Wasserstoff (Hydrogenium).
2. Lithium, Natrium, Kalium (Alkalimetalle).
3. Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Baryum, Aluminium (Erdmetalle).
4. Kupfer, Silber, Gold — Quecksilber, Cadmium, Zink — Blei, Zinn, Titan.
5. Platin, Kobalt, Nickel, Eisen — Mangan, Chrom, Molybdän, Wolfram.
6. Wismut, Antimon, Arsen, Vanad (Sprödmetalle).
7. Bor, Kohlenstoff, Silicium — Phosphor, Stickstoff.
8. Tellur, Selen, Schwefel, Sauerstoff.
9. Jod, Brom, Chlor, Fluor (Halogene).

Die unter 2 und 3 angeführten Elemente werden auch Leichtmetalle genannt, die unter 4 und 5 hingegen Schwermetalle. Silber, Gold, Quecksilber, Platin sind Edelmetalle, die Stoffe unter 7 bis 9 werden als Metalloide bezeichnet.

Alle Elemente sind fähig, mit dem Sauerstoff (Oxygenium) Verbindungen einzugehen, welche Oxyde heißen, doch lassen sich manche Metalle nur schwierig oder indirekt mit Sauerstoff verbinden, nämlich die genannten Edelmetalle. Der Vorgang der Verbindung heißt Oxydation, jener der Trennung oder Befreiung vom Sauerstoffe hingegen Reduktion. Die meisten Minerale sind Sauerstoffverbindungen, die Mineralchemie ist vorwiegend Sauerstoffchemie. Der Schwefel spielt eine ähnliche Rolle wie der Sauerstoff, die Verbindungen desselben heißen Sulfide.

Die Ursache der Verbindung zweier Stoffe, mögen diese einfache oder zusammengesetzte sein, wird Verwandtschaft genannt. Der Zinnober läßt sich in zwei einfache Stoffe: in Quecksilber und in Schwefel zerlegen. Wenn Zinnober mit Eisenfeilicht gemischt und erwärmt wird, so bildet sich in der kühlen Vorlage Quecksilber, während der Schwefel sich mit dem Eisen verbunden hat. Man sagt in diesem Falle, der Schwefel habe zum Eisen eine größere Verwandtschaft als zum Quecksilber. Die Stärke dieser Verwandtschaft hängt übrigens ab von den äußeren Umständen, Druck und Temperatur, und von den Mengenverhältnissen in denen die Stoffe miteinander reagieren.

151. Prüfung auf trockenem Wege. Das chemische Verhalten der Minerale bietet viele ungemein wertvolle Kennzeichen, weil chemische Versuche immer ein bestimmtes Resultat geben und auch in dem Falle ausführbar sind, als das Mineral dicht oder gar erdig ist, also die Erkennung der Form und die Ermittlung der physikalischen Merkmale nicht zuläßt. Die Ausführung einer einfachen chemischen Prüfung ist demnach öfter unumgänglich, daher jeder, der es dahinbringen will, Minerale richtig zu bestimmen, sich mit den gewöhnlichen qualitativen Methoden vertraut machen und sich einige Zeit darin üben muß.

Die Operationen, welche bei der qualitativen Untersuchung in Anwendung kommen, werden entweder mit kleinen Stückchen des starren Minerals vorgenommen, indem dieses einer hohen Temperatur ausgesetzt wird (trockener Weg), oder die Prüfung erfolgt an der flüssigen Auflösung des Minerals, zu welcher meist noch andere Probeflüssigkeiten oder Reagentien hinzugefügt werden (nasser Weg).

Um die Prüfung bei höheren Hitzegraden vorzunehmen, pflegt man entweder eine Kerzenflamme mittels des Lötrohres anzufachen oder die Flamme des Bunsenschen Gasbrenners zu benutzen. Die blaue Stichflamme, welche das Ende der Lötrohrflamme bildet, hat infolge des heftigen Zuströmens der Luft nicht nur eine höhere Temperatur als die übrigen Teile der Flamme, sondern auch einen Überschuß an Sauerstoff, daher sie oxydierend wirkt, während der leuchtende Teil der Lötrohrflamme wegen der vorhandenen glühenden Kohleteilchen und wegen Mangels an Sauerstoff als Reduktionsflamme dienlich sein kann. Ebenso ist an der Bunsenschen Flamme das Ende und der blaue Saum als Oxydationsflamme von dem inneren, etwas leuchtenden Kegel, welcher eine Reduktionsflamme bildet, verschieden.

Als Unterlage für die Mineralprobe, welche etwa hirsekorngroß genommen wird, dient Holzkohle, oder die Probe wird mit einer Pinzette, die Platinspitzen besitzt, gefaßt. Bei Benützung der Bunsenschen Flamme wird das Ende eines feinen Platindrahtes um die Probe gewunden oder es werden Kohlenstäbchen, manchmal auch Asbestfäden als Unterlage benutzt.

Wenn Minerale, wie Bleiglanz, Baryt beim Erhitzen zerknistern oder dekrepitieren, so wird eine Probe zuerst in einem Kölbchen erhitzt, bis dieselbe zu gröblichem Pulver zersprungen ist, hierauf, fein gepulvert, mit einem Tropfen Wasser zum Teige angemacht und auf Kohle gestrichen und erhitzt, worauf man eine zusammenhängende Masse erhält, die nicht mehr zerspringt.

Oft wird der Versuch gemacht, die Probe im Kölbchen zu erhitzen, um zu sehen, ob nicht ein Stoff sich entwickelt und an den kühleren Wänden des Kölbchens kondensiert. Wasserhaltige Minerale, wie Epidot, Gyps geben entweder einen Hauch oder gar Wassertropfen, manche Minerale, wie der Pyrit, geben ein gelbes Sublimat von Schwefel oder, wie der Löllingit, ein schwarzes, metallisch aussehendes von Arsen u. s. w.

Zuweilen wird ein beiderseits offenes Glasrohr benutzt, um die hineingeschobene Probe in einem Luftstrom zu erhitzen, wobei die Stoffe, welche im vorigen Versuche sublimierten, hier verbrennen und öfter charakteristische Oxydationsprodukte liefern. Manche schwefelhaltigen Minerale lassen den Geruch der schwefeligen Säure wahrnehmen, arsenhaltige geben gewöhnlich einen weißen Rauch, der einen krystallinischen Absatz bildet etc.

Beim Erhitzen auf der Kohle gibt der Rauch, welcher sich aus der Probe entwickelt, zuweilen einen weißen oder farbigen Beschlag, welcher an den Rändern wegen des dunkeln Hintergrundes oft bläulich oder grünlich erscheint. Antimonhaltige Minerale liefern einen weißen, Wismut gibt einen gelben Beschlag. Auf der Kohle wird auch das Zusammenschmelzen der gepulverten Probe mit anderen Substanzen, besonders mit Soda ausgeführt. Durch das längere Erhitzen dieser Schmelze kann man aus den bleihaltigen Mineralen Körner von Blei erhalten, aus kupferhaltigen Körner von Kupfer, aus den zinnhaltigen solche von Zinn etc.

Häufig wird der Versuch gemacht, in das Ohr eines Platindrahtes eine kleine Menge von Soda (Natriumcarbonat), von Borax (Natrium-Tetraborat) oder von Phosphorsalz (Natrium-Ammoniumphosphat) einzuschmelzen und die so erhaltene

Perle durch erneutes Schmelzen mit einer kleinen Menge des gepulverten Minerals zu vereinigen. Die Sodaperle und die Phosphorsalzperle dienen zur Erkennung der Silikate, die Boraxperle und Phosphorsalzperle zur Erkennung vieler Metalle, deren Oxyde diesen Schmelzen charakteristische Färbungen verleihen.

Für den letzteren Versuch müssen Mineralproben, welche flüchtige Stoffe, wie Schwefel, Arsen, Antimon enthalten, zuvor einige Zeit in gepulvertem Zustande auf Kohle erhitzt (geröstet) werden.

In der Borax- und in der Phosphorsalzperle bilden sich nach dem Zusammenschmelzen mit der Mineralprobe zuweilen Krystalle mit charakteristischen Formen, so daß man bei der mikroskopischen Betrachtung manche Stoffe leicht erkennen kann, G. Rose und später Wunder und A. Knop haben gezeigt, daß diese Methode in manchen Fällen gute Dienste leistet.

Wenn die Mineralprobe für sich in der Pinzette oder im Ohr des Platindrahtes erhitzt wird, so gibt sich nicht nur der Grad der Schmelzbarkeit zu erkennen [139], sondern es zeigen sich oft Erscheinungen, die von einer chemischen Veränderung herrühren. Durch Entwicklung flüchtiger Stoffe wird bisweilen ein Aufblähen verursacht, oder das Schmelzen geschieht unter Schäumen und Blasenwerfen. Das Schmelzprodukt kann sodann entweder ein durchsichtiges Glas oder eine emailartige oder eine schlackenähnliche Masse sein. Die Veränderung, welche die geglühte Probe erfahren hat, zeigt sich oft dadurch, daß dieselbe, auf gerötetes Lackmuspapier gelegt und befeuchtet, einen blauen Fleck hervorbringt: alkalische Reaktion.

Eine Erscheinung, welche schon vor langer Zeit die Aufmerksamkeit der Forscher erregte, ist die Färbung, welche häufig der Lötrohrflamme durch die Mineralprobe erteilt wird. Natriumhaltige Minerale färben die Lötrohrflamme gelb, kaliumhaltige violett. Wenn aber beide Stoffe, nämlich Natrium und Kalium, gleichzeitig vorhanden sind, so ist die Flamme auch gelb, es wird also die violette Färbung durch das Gelb verdeckt. Um dennoch beide nebeneinander zu erkennen, benutzt man in solchem Falle nach Bunsens Vorschlag eine parallelwandige Flasche mit einer Auflösung von Kupferoxydammoniak oder ein blaues Kobaltglas, welche die gelben Strahlen zurückhalten, aber die violetten durchlassen, also gleichsam als Lichtfilter wirken.

Um die Stoffe, welche sich aus der Mineralprobe entwickeln und der Flamme eine Färbung verleihen, mit Sicherheit sowohl für sich als nebeneinander zu erkennen, unternimmt man die Analyse der Flammenfarbe mittels eines Glasprismas [95] nach der von Bunsen angegebenen spektral-analytischen Methode.

Das Mineralpulver wird auf einem Platinblech mit ein wenig Salzsäure oder Schwefelsäure befeuchtet, oder im Falle schwieriger Zersetzbarkeit mit etwas Fluorammonium und Schwefelsäure angemacht, dann mit dem Ohr eines Platindrahtes etwas von dem Gemische aufgenommen und in den Saum der Bunsenschen Flamme gebracht. Die gefärbte Flamme wird mittels eines kleinen Spektroskopes, wie es in den chemischen Laboratorien gebräuchlich ist, beobachtet. Der Anfänger prägt sich zuerst durch Übungsversuche die Spektre der einfachen Stoffe ein, so daß er dieselben später auch in ihrer Vereinigung wieder erkennt.

Auf solche Art wird beim Bestimmen der Minerale der Gehalt an Lithium, Natrium, Kalium, Calcium, Strontium, Baryum, eventuell an Cäsium, Rubidium, Indium erkannt.

Lit. Plattner, Probierkunst mit dem Lötrohr, 6. Aufl., Leipzig, 1897, Hirschwald, Anleitung zur systematischen Lötrohranalyse, Leipzig, 1891. Kobell, Tafeln zur Bestimmung der Mineralien, München. Fuchs-Brauns, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien, Gießen. Wunder, Journ. f. prakt. Chemie, 2. Ser., Bd. 1, S. 452, Bd. 2, S. 206, A. Knop, Ann. d. Chemie u. Pharm., Bd. 157, S. 363 und Bd. 159, S. 36. Kennigott, Jahrb. f. Min., 1867, S. 302.

152. Prüfung auf nassem Wege. Die Vorbedingung ist hier das Vorhandensein des Mineralen in wässriger Lösung. Bei einigen Mineralen ist dieses direkt erreichbar, weil sie durch Wasser aufgelöst oder zerlegt werden, wie Steinsalz, Carnallit. Manche sind schwer löslich im Wasser, wie z. B. Gyps, andere lösen sich langsam, wie der Kieserit.

Viele der Minerale, welche durch Wasser nicht gelöst werden, lassen sich durch Säuren zersetzen (aufschließen) und in Lösung bringen. Die gewöhnlich angewendeten Säuren sind Salzsäure, Salpetersäure, seltener kommt Schwefelsäure in Verwendung, öfter die Mischung von Salzsäure und Salpetersäure (Königswasser). Die Auflösung, welche häufig durch Erwärmung beschleunigt wird, erfolgt entweder ruhig oder unter Gasentwicklung. Bei Anwendung von Salzsäure entwickeln manche Minerale Kohlensäure als geruchloses Gas unter Aufbrausen schon bei gewöhnlicher Temperatur, wie der Kalkspat, oder beim Erwärmen, wie der Dolomit, Magnesit. Manche schwefelhaltigen Minerale werden von Salzsäure unter Entwicklung eines übelriechenden Gases (Schwefelwasserstoffgas) zersetzt, welches feuchtes Bleipapier (Filtrierpapier, mit einer Lösung von essigsäurem Blei getränkt) bräunt. Einige Minerale, wie z. B. die Manganerze, geben, mit Salzsäure behandelt, ein erstickend wirkendes Gas, nämlich Chlorgas.

Salpetersäure zerlegt die kohlenstoffhaltigen Minerale ebenso wie die vorige Säure. Mit oxydierbaren Mineralen, wie z. B. mit Metallen, mit Cuprit, Magnetit und den Sulfiden zusammengebracht, entwickelt sie Stickoxydgas, welches an der Luft rote Dämpfe von Untersalpetersäure bildet. Die schwefelhaltigen Minerale hinterlassen nach der Zersetzung oft einen Körper, der zu schwimmen pflegt und leicht als Schwefel erkannt wird. Die antimonhaltigen geben einen weißen Bodensatz von Antimonoxyden.

Manche Minerale liefern auch bei der Zersetzung durch Salzsäure einen Bodensatz, der aus Titansäure oder Wolframsäure besteht. Manche siliciumhaltigen Minerale geben nach der Zersetzung eine leichte, pulverig aussehende Kieselerde, z. B. der Apophyllit, der Leucit, andere liefern, wofern man die Säure nicht zu sehr verdünnt in Anwendung bringt, Kieselerde in gallertartigem Zustande, wie z. B. der Nephelin, das Kieselzinkerz.

Viele Minerale, welche nach der gewöhnlichen Methode durch die genannten Säuren nicht gelöst werden, können durch Einschließen des mit der Säure angemachten Pulvers in ein zugeschmolzenes Glasrohr und nachheriges Erhitzen auf 100° bis 300° zersetzt werden.

Eine große Zahl von Mineralen läßt sich nicht durch Säuren in Lösung bringen, daher man genötigt ist, andere Methoden anzuwenden, durch welche das Mineral, wie man zu sagen pflegt, aufgeschlossen wird. Am häufigsten läßt sich das Aufschließen durch Zusammenschmelzen mit kohlensaurem Natron und kohlensaurem Kali und durch Zersetzen der Schmelze mit Salzsäure ausführen, besonders bei den siliciumhaltigen Mineralen. Dieselben lassen sich auch durch Zusammenbringen mit Flußsäure oder Fluorammonium und nachheriges Erwärmen unter Zufügung von Schwefelsäure aufschließen. In diesem Falle verflüchtigt sich das Silicium, indem es als Kieselflußsäure davongeht. Andere Methoden der Aufschließung bestehen in dem Zusammenschmelzen mit Kalihydrat, z. B. beim Spinell, oder mit saurem schwefelsaurem Kali, z. B. beim Korund.

153. Bei der qualitativen Prüfung kommen auch noch einige Erscheinungen von allgemeiner Anwendbarkeit in Betracht:

Die flüssigen Säuren, wie Schwefelsäure und die wässerigen Auflösungen der Säuren, haben die Eigenschaft, blaue Pflanzensäfte rot zu färben. Blaues Lackmuspapier wird beim Eintauchen in Säure rot gefärbt: saure Reaktion. Dagegen haben andere Stoffe, z. B. die Oxyde der Alkalimetalle, welche Alkalien genannt werden, die Eigenschaft, in dem durch Säure geröteten Lackmuspapier die ursprüngliche Farbe wieder herzustellen. Rotes Lackmuspapier wird beim Eintauchen in eine Lösung von Alkalien blau: alkalische Reaktion. Eine Auflösung, welche weder alkalische, noch saure Reaktion zeigt, heißt neutral. Durch Zusammenfügen saurer und alkalischer Lösungen in bestimmtem Verhältnisse wird die Neutralisierung beider bewirkt.

Viele Minerale werden schon durch Wasser angegriffen und einige derselben zeigen sodann, wie Kenngott beobachtete, alkalische Reaktion. Wird von einem solchen Mineral, z. B. Natrolith, eine kleine Menge des Pulvers auf ein feuchtes Curcumapapier oder rotes Lackmuspapier gebracht und außerdem mit einem Tropfen Wasser benetzt, so wird an der Berührungsstelle das erstere braun, das zweite blau gefärbt. Manche Minerale zeigen die Erscheinung erst, nachdem sie geglüht worden.

Die meisten Schwermetalle werden aus ihren neutralen Lösungen, manche auch aus ihren sauren Lösungen durch Schwefelwasserstoff als Sulfide gefällt. Manche dieser Niederschläge werden durch Schwefelammonium aufgelöst.

154. Erkennung der Bestandteile in einfachen Fällen. Die nachfolgenden Angaben können benutzt werden, wenn es sich um einfach zusammengesetzte Minerale handelt oder wenn in den komplizierter zusammengesetzten einzelne Stoffe leicht zu ermitteln sind.

Aluminium. Viele der aluminiumhaltigen Minerale werden durch Befeuchten mit Kobaltsolution und nachheriges Glühen blau gefärbt. In der Auflösung erkennt man das Aluminiumoxyd oder die Tonerde an dem weißen, flockigen Niederschlage, welcher durch Ammonflüssigkeit entsteht und durch Kalilauge, nicht aber durch kohlensaures Ammon gelöst wird.

- Antimon.** Durch Erhitzen auf Kohle für sich oder nach Zugabe von etwas Soda entsteht ein weißer Beschlag, der in der Nähe der Probe oft krystallinisch ist und durch die Flamme von einer Stelle zur anderen verflüchtigt werden kann.]
- Arsen.** Viele arsenhaltige Minerale verbreiten beim Erhitzen auf der Kohle einen charakteristischen knoblauchartigen Geruch und geben einen weißen Beschlag, der sich erst in einiger Entfernung von der Probe absetzt. Alle arsenhaltigen Proben liefern, mit Cyankalium und Soda im Kölbchen erhitzt, einen Metallspiegel, welcher durch Schwefelwasserstoff gelb wird.
- Baryum.** Spektroskopisch leicht erkennbar. Die Lösung liefert mit Kieselflußsäure einen farblosen, krystallinischen, mit Gypslösung sogleich einen weißen, in Säuren unlöslichen Niederschlag.
- Beryllium.** In der Auflösung entsteht durch Ammoniak ein weißer Niederschlag, welcher sowohl durch Kalilauge als auch durch kohlen-saures Ammon gelöst wird.
- Blei.** Manche Bleiverbindungen geben auf der Kohle einen schwefelgelben Beschlag. Mit Soda auf Kohle geschmolzen, liefert jede bleihaltige Probe ein Bleikorn. Die Lösung gibt mit einem Tropfen Schwefelsäure einen weißen, mit chromsaurem Kali einen gelben Niederschlag.
- Bor.** Das gepulverte Mineral wird mit Schwefelsäure erwärmt, worauf Alkohol zugegossen und dieser angezündet wird. Ist Bor vorhanden, so wird die Flamme grün gefärbt.
- Brom.** Die in einem Kölbchen mit konzentrierter Schwefelsäure übergossene Probe entwickelt Bromdampf, der einen mit Stärkekleister bestrichenen Papierstreifen nach einigen Stunden gelb färbt.
- Cadmium.** Die Probe gibt im Reduktionsfeuer einen braunen bis orangegelben Beschlag. Die saure Lösung liefert mit Schwefelwasserstoff einen zitrongelben, in Schwefelammon unlöslichen Niederschlag.
- Calcium.** Spektroskopisch leicht erkennbar. Die Lösung liefert, auch wenn sie verdünnt ist, mit oxalsäurem Ammon einen weißen Niederschlag, der durch starke Säuren zerstört wird. Gypslösung gibt keinen Niederschlag.
- Chlor.** Die salpetersaure Auflösung gibt nach Hinzufügung von salpetersaurem Silber einen weißen, käsigen Niederschlag von Chlorsilber, welcher sich am Licht schwärzt und in Ammoniak auflöst.
- Chrom.** Die meisten Verbindungen geben eine schöne smaragdgrüne Borax- oder Phosphorsalzperle. Mit Salpeter geschmolzen, geben die Minerale eine Schmelze, welche, mit Wasser ausgezogen, eine gelbe Lösung liefert, in der essigsäures Blei einen gelben Niederschlag von Bleichromat erzeugt.
- Eisen.** Viele Verbindungen werden, auf Kohle erhitzt, magnetisch. Die sauerstoffreichen (oxydhaltigen) geben eine rote, nach dem Erkalten gelbe Boraxperle, welche im Reduktionsfeuer grün wird, die sauerstoffärmeren (oxydulhaltigen) meistens eine grüne Perle. Die Lösung jedes eisenhaltigen Mineral, welche nach Zusatz von Salpetersäure einige Zeit gekocht wurde, gibt mit Ammoniak einen braunen, flockigen Niederschlag, mit einer Lösung des gelben Blutlaugensalzes einen blauen Niederschlag.
- Fluor.** Das Pulver des Mineral wird in einem Platintiegel mit konzentrierter Schwefelsäure erwärmt, nachdem der Tiegel mit einer Glasplatte bedeckt wurde, welche mit Wachs überzogen, stellenweise aber mittels eines Holzstiftes vom Wachs entblößt worden ist. Die freien Stellen werden durch die entwickelten Dämpfe geätzt. Es ist gut, in einem zweiten Tiegel, ohne Mineral, mit der Schwefelsäure die Gegenprobe zu machen.
- Gold.** Die Probe liefert, auf Kohle erhitzt, ein Goldkorn. Aus diesem kann etwa beigemischtes Silber durch Erwärmen mit Salpetersäure ausgezogen und in der Lösung nachgewiesen werden.
- Jod.** Die in einem Kölbchen mit konzentrierter Schwefelsäure übergossene Probe entwickelt Joddampf, der einen mit Stärkekleister bestrichenen Papierstreifen blau färbt.

- Kalium.** Violette Flammenfärbung. Anwendung des Lichtfilters oder Spektroskops. In der salzsauren Auflösung entsteht durch Zufügen von Platinehlorid ein zitrongelber Niederschlag.
- Kobalt.** Die geröstete Probe liefert mit Borax ein schön blaues Glas, zuweilen erst nach längerem Erhitzen im Reduktionsfeuer.
- Kohlenstoff.** Nur selten ist es nötig, die Kohle besonders nachzuweisen. Durch Zusammenbringen mit heißer Salpeterschmelze entsteht eine Verpuffung. Bei geringerem Kohlengehalte wird durch den Salpeter die schwarze Farbe zerstört. Die Kohlensäureverbindungen entwickeln, wie schon bemerkt wurde, mit Säuren ein geruchloses Gas.
- Kupfer.** Die geröstete Probe gibt mit Borax ein blaues Glas, welches im Reduktionsfeuer braunrot wird. Mit Soda auf Kohle zusammengeschmolzen, liefert die Probe ein Kupferkorn. Die Lösung wird, mit viel Ammonflüssigkeit versetzt, schön blau.
- Lithium** verursacht, wenn allein vorhanden, eine karminrote Flammenfärbung, die aber durch Natrium, wenn solches vorhanden, verdeckt wird. Spektroskop.
- Magnesium.** Manche Verbindungen des Magnesiums, die ursprünglich weiß sind, werden nach dem Befeuchten mit einer Lösung von salpetersaurem Kobalt und nachherigem Glühen lichtrot. In der Auflösung wird die Gegenwart des Magnesiums an dem weißen, krystallinischen Niederschlag erkannt, welcher nach Zufügung einer erheblichen Menge von Salmiaklösung, einer kleinen Quantität von Ammonflüssigkeit bis zum deutlichen Ammongeruche und Hinzugabe einer Lösung von phosphorsaurem Natron entsteht. Der Niederschlag wird durch Säuren gelöst.
- Mangan.** Das feine Pulver gibt, mit Soda und etwas Salpeter auf Platinblech erhitzt, eine blaugrüne Schmelze. Meistens darf man nur wenig von dem Mineral nehmen.
- Molybdän.** Die Probe gibt im Reduktionsfeuer mit Phosphorsalz ein grünes, mit Borax ein braunes Glas.
- Natrium.** Gelbe Flammenfärbung. Spektroskop.
- Nickel.** Die Probe, mit Soda auf dem Kohlenstäbchen erhitzt, nach dem Erkalten zerrieben, mit Wasser gewaschen, liefert magnetische Teilchen von metallischem Nickel. Diese, gesondert in einem Tropfen Salpetersäure gelöst, mit Ammon versetzt, liefern eine tiefblaue Lösung.
- Phosphor.** Die Gegenwart von Phosphorsäure wird in der Auflösung dadurch erkannt, daß nach Hinzufügung von Salmiak und Ammonflüssigkeit, bis ein deutlicher Ammongeruch entsteht, endlich nach Zugabe von Bittersalzlösung ein krystallinischer Niederschlag fällt, welcher durch Säuren zerstörbar ist. (Vergl. Magnesium.) Die Phosphorsäure läßt sich auch dadurch nachweisen, daß man zur Lösung der Probe eine mit Salpetersäure übersättigte Lösung von molybdänsaurem Ammon zersetzt und erwärmt. Es entsteht ein gelber, feinerdiger Niederschlag.
- Platin** findet sich nur gediegen und wird an seinen physikalischen Eigenschaften leicht erkannt.
- Quecksilber.** Die Probe liefert, mit Soda im Kölbchen erhitzt, ein graues Sublimat, aus Tröpfchen von metallischem Quecksilber bestehend.
- Sauerstoff.** Die Gegenwart dieses Stoffes läßt sich nicht direkt, sondern nur indirekt nachweisen oder bloß erschließen.
- Schwefel.** Eine Probe des Minerals wird mit Soda auf Kohle zusammengeschmolzen, die Schmelze auf eine blanke Silbermünze oder ein Silberblech gelegt und mit Wasser befeuchtet, worauf der entstehende braune Fleck den Schwefelgehalt verrät. In der Auflösung wird Schwefelsäure durch den weißen, in Säure unlöslichen Niederschlag erkannt, welcher durch Chlorbaryum hervorgebracht wird.
- Selen.** Im Oxydationsfeuer erhitzt, geben die Selenverbindungen eine schöne blaue Flamme und entwickeln einen rettigartigen Geruch. Auf Kohle geben sie einen metallisch aussehenden, grauen Beschlag. Im Glasrohr bildet sich beim Erhitzen ein rotes Sublimat.

- Silber.** Die mit Salpetersäure erhaltene Auflösung gibt mit Salzsäure einen weißen, käsigen Niederschlag, welcher sich am Lichte schwärzt, in Ammoniak auflöslich ist.
- Silicium.** Durch das Zusammenschmelzen der Silicate mit der Phosphorsalzperle werden viele zersetzt und die Kieselerde bleibt als Skelett oder Pulver in der Perle sichtbar. Mit Soda zusammengesmolzen, zeigen die Silicate ein Aufschäumen und liefern eine Masse, welche, mit Salzsäure behandelt, eine Gallerte gibt. Beim Abdampfen geht diese in Pulver über, welches nach dem Wegwaschen der übrigen Verbindungen weiß und durch die gewöhnlichen Säuren unangreifbar ist, durch eine Mischung von Flußsäure und Schwefelsäure gänzlich verflüchtigt wird.
- Stickstoff.** In der Form von Ammoniak ist der Stickstoff in wenigen Mineralen enthalten. Diese geben, mit Kalilauge erwärmt, Ammoniakgas, welches durch den Geruch erkennbar ist. In der Form von Salpetersäure tritt der Stickstoff gleichfalls in einigen Mineralen auf. Diese verpuffen auf glühender Kohle. Mit saurem schwefelsauren Kali zusammengesmolzen, geben sie braunrote Dämpfe von salpetriger Säure aus.
- Strontium.** Spektroskopisch leicht erkennbar. Die Lösung gibt mit Kieselflußsäure keinen, mit Gypslösung nach einiger Zeit einen weißen Niederschlag.
- Tellur.** Charakteristisch ist der weiße, rotgesäumte Beschlag, welchen Tellur auf Kohle hervorbringt. Die tellurhaltigen Minerale erteilen konzentrierter Schwefelsäure beim ersten Erwärmen eine karminrote Farbe.
- Titan.** Die Phosphorsalzperle ist nach der Behandlung im Reduktionsfeuer heiß gelb, kalt violett. Bei Gegenwart von Eisen muß etwas gepulvertes Zinn zugesetzt werden, um die violette Farbe hervortreten zu lassen. Außerdem erkennt man die Titansäure in der plattgedrückten Phosphorsalzperle unter dem Mikroskop an der Krystallform. Die mit saurem schwefelsauren Kali erhaltene Schmelze, in verdünnter Säure gelöst, gibt, einige Zeit mit Zinn oder Zink in Berührung gelassen, eine violette bis blaue Flüssigkeit. Eine titanhaltige Lösung nimmt mit einer Lösung von Wasserstoffsperoxyd versetzt, eine gelbe bis braune Färbung an.
- Uran.** Die Phosphorsalzperle ist im Oxydationsfeuer gelb, von der Farbe des Uranglases, im Reduktionsfeuer grün.
- Vanad.** Die Vanadinsäure gibt mit Borax ein Glas, welches im Oxydationsfeuer gelb oder braun, im Reduktionsfeuer grün ist.
- Wasserstoff in der Form von Wasser.** Durch Erhitzen des Minerals im Kölbchen entsteht ein Hauch oder ein Beschlag, der aus feinen Wassertröpfchen besteht.
- Wismut.** Die Probe gibt auf Kohle einen Beschlag von Wismutoxyd, welches heiß braun, kalt hellgelb erscheint. Mit Jodkalium und Schwefel zusammengesmolzen, liefert sie einen roten Beschlag. Die Auflösung gibt auf reichlichen Zusatz von Wasser und einem Tropfen Kochsalzlösung einen weißen Niederschlag von basischem Salz.
- Wolfram.** Das Pulver gibt mit Soda eine Schmelze, welche, mit Wasser ausgezogen, ein Filtrat liefert, in welchem durch Salzsäure ein weißer Niederschlag von Wolframsäure entsteht. Der getrocknete Niederschlag wird durch Erhitzen gelb.
- Zink.** Die Probe liefert, mit Soda zusammengesmolzen, auf der Kohle einen Beschlag, der in der Wärme gelb, nach dem Erkalten weiß ist, mit Kobaltlösung befeuchtet und geglüht, grün gefärbt wird und im Oxydationsfeuer sich nicht verflüchtigt. In der Lösung liefert Kalihydrat sowie Ammon einen weißen gelatinösen Niederschlag, welcher sich im Überschuße beider Fällungsmittel löst. Aus diesen Lösungen wird durch Schwefelwasserstoffgas weißes Zinksulfid gefällt.
- Zinn.** Durch Erhitzen auf Kohle entsteht ein weißer Beschlag, welcher weder durch die Oxydations- noch durch die Reduktionsflamme zu vertreiben ist. Mit Soda geschmolzen, liefert die Probe ein Zinnkorn.

155. Mikrochemische Analyse. Man kommt öfter in die Lage, die chemischen Bestandteile eines Minerals zu ermitteln, von welchem nur eine sehr geringe Menge zu Gebote steht. Es ist entweder ein winziges Kryställchen oder ein staubförmiges Körnchen oder aber es ist in einem Dünnschliffe, der aus einem Gemenge von Mineralen besteht, ein Teilchen, das, mit freiem Auge angesehen, wie ein Pünktchen erscheint, zu prüfen. In diesen Fällen wird das Kryställchen, Körnchen oder der aus dem Dünnschliff isolierte Splitter zuerst unter dem Mikroskope auf seine Reinheit geprüft und wenn diese konstatiert ist, die Probe auf nassem Wege unternommen. Es ist eine qualitative Prüfung im kleinsten Maßstabe. Zur Auflösung und Zersetzung werden die früher genannten Mittel, besonders Salzsäure, Schwefelsäure, Flußsäure, auch Kieselflußsäure, angewendet. Ein Tropfen reicht oft hin, die nötige Lösung zu erhalten. Die Zersetzung geschieht zuweilen auf dem gläsernen Objektträger. Bei Anwendung von Flußsäure oder Kieselflußsäure wird derselbe mit einer Schichte von Kanadabalsam überzogen; besser ist es, ein durchsichtiges Plättchen von Schwerspat zu benutzen. Meistens wird die Zersetzung in einem Platinschälchen vorgenommen, ebenso das Aufschließen mit Fluorammon oder mit Soda und die nachherige Zerlegung der Schmelze durch Säuren. Die erhaltene Lösung wird mit Reagenzien versetzt. Wird hierauf ein Tropfen auf den Objektträger gebracht und dort verdunsten gelassen, so bilden sich kleine Krystalle der entstandenen Verbindungen, welche unter dem Mikroskope geprüft werden. Man erkennt hier die Gegenwart eines Stoffes an den Eigentümlichkeiten der Krystallform einer bestimmten Verbindung dieses Stoffes, so z. B. die Gegenwart von Natrium an den eigentümlichen Krystallgestalten des Kieselfluornatriums, welches bei der vorgeschriebenen Methode sich bildet, wenn Natrium zugegen ist. Man begnügt sich nicht damit, die Form der Kryställchen nach Abbildungen zu beurteilen, sondern macht in jedem Falle einen Parallelversuch, in dem vorigen Beispiele, indem man eine sehr kleine Menge einer natriumhaltigen Verbindung dem gleichen Vorgange aussetzt und die entstandenen Krystallisationen vergleicht. Das Verfahren entspricht öfter den früher angeführten Methoden des nassen Weges. Einige Beispiele genügen, um zu zeigen, wie die einzelnen Stoffe erkannt werden.

Calcium. Das Mineral wird aufgeschlossen, dann durch Schwefelsäure zersetzt und eingedampft, der Rückstand in Wasser gelöst. Ein Tropfen der Lösung zeigt beim Verdunsten auf dem Objektträger mikroskopische Gypskryställchen wie in Fig. 497. Auch zum Nachweis von Schwefelsäure läßt sich diese Erscheinung benutzen.

Magnesium. Zur Lösung wird ein Körnchen Phosphorsalz und etwas Ammoniak hinzugefügt, entsprechend dem Verfahren in dem vorigen Absatze. Als Niederschlag bilden sich Kryställchen von Magnesium-Ammoniumphosphat, deren Form sehr charakteristisch ist, Fig. 498. Die umgekehrte Methode führt zur Erkennung der Phosphorsäure.

Aluminium. Die schwefelsaure Lösung, mit einem Körnchen Caesiumchlorid in Berührung gebracht, liefert schöne oktaedrische Kryställchen von Caesiumalaun.

Natrium. Natriumhaltige Minerale geben nach der Zersetzung mit Kieselflußsäure und nach dem Verdunsten Kryställchen von Kieselfluornatrium, Fig. 497: Natriumhaltige Silicate liefern diese Kryställchen nach der Zersetzung mittels Flußsäure. Natriumhaltige Lösungen geben mit essigsauerm Uranyl reguläre Tetraeder von Natrium-Uranylacetat.

Kalium. Die Lösung gibt mit Kieselflußsäure farblose Würfelchen von Siliciumkaliumfluorid, mit Platinchlorid gelbe Oktaederchen.

Fig. 497.

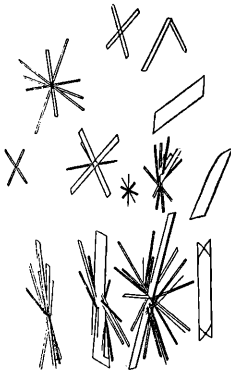


Fig. 498.

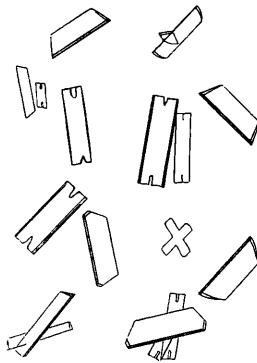
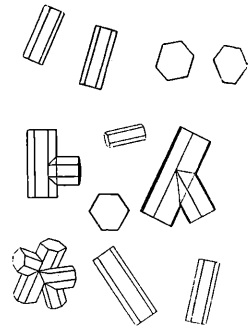


Fig. 499.



Silicium. Das Mineralpulver wird in einem kleinen Platintiegel mit Flußsäure zersetzt, nachdem die Innenseite des Deckels mit einem Tropfen Wasser befeuchtet worden. Der Tropfen wird hernach mit einem Stäubchen von Kaliumcarbonat versetzt, worauf sich kleine Würfel von Siliciumkaliumfluorid bilden.

Lit. Bořický, Elemente einer neuen chemisch-mikroskop. Mineral- und Gesteinanalyse, Prag, 1877. Streng, Jahrb. f. Min., 1883, Bd. II, S. 365 u. ff. Bde. Haushofer, Mikrochemische Reaktionen, Braunschweig, 1885. Klement u. Renard, Reactions microchimiques, Bruxelles, 1886. Behrens, Anleitung zur mikroskopischen Analyse, Hamburg u. Leipzig, 2. Aufl. 1900. Lehmann, Die Krystallanalyse, Leipzig, 1891.

156. Gewichtsbestimmung. Das Verständnis der chemischen Erscheinungen beruht vor allem auf der Kenntnis der quantitativen Verhältnisse. Erst diese geben ein Bild von dem Mechanismus, der bei den chemischen Veränderungen tätig ist. Aber auch die chemische Ähnlichkeit der Minerale, die Beziehungen verschiedener Minerale werden erst klar, wenn die Mengen der Stoffe bekannt sind, aus welchen die verglichenen Körper bestehen.

Die Ermittlung der Gewichtsverhältnisse beruht auf sorgfältigen, oft komplizierten Operationen und genauen Wägungen, die Resultate der Arbeit sind Zahlenverhält-

nisse, welche desto genauer sind, je besser die Methoden, je größer die Sorgfalt und Geschicklichkeit des Experimentators. Die Vorbedingung jeder brauchbaren Mineralanalyse ist aber die vollkommene Reinheit des Materiales, welche oft erreicht werden kann, indem das Mineral in kleine Splitter zerschlagen wird und diese unter dem Mikroskop oder einer stark vergrößernden Lupe ausgesucht werden oder indem das Mineral nach der Methode der schweren Flüssigkeiten [148] gereinigt wird. Wenn sich trotzdem fremde Beimengungen nicht vermeiden lassen, wird das Resultat weniger brauchbar.

Die quantitative Mineralanalyse ist ein umfangreiches methodisches Gebiet, welches eine praktische Betätigung erfordert, also nicht Gegenstand des vorliegenden Werkes ist. Um hier aber doch wenigstens eine Andeutung zu geben, in welcher Weise die Quantitätsbestimmungen ausgeführt werden, mögen zwei Beispiele Platz finden.

Die gewichtsmäßige Bestimmung geht selbstverständlich von dem Grundsatz aus, daß das Gewicht der Verbindung gleich ist der Summe der Gewichte der Bestandteile, welchen man das Prinzip der Erhaltung der Materie nennt. Die Methoden sind bald mehr direkte, indem das Mineral geradezu in seine Bestandteile zerlegt wird und diese gewogen werden, oder sie sind mehr indirekte, indem das Mineral zwar auch zerlegt, aber jeder Bestandteil in eine neue Verbindung übergeführt und diese letztere gewogen wird.

Ein Beispiel direkter Bestimmung gibt die Analyse des Goethits oder Nadeleisenerzes. Die qualitative Prüfung des reinen Mineralen würde Eisenoxyd und Wasser als Bestandteile ergeben. Wenn von dem Minerale 0.734 Gramm oder 734 Milligramm abgewogen, diese Quantität in ein Glasrohr getan und geglüht wird, während die entstehenden Wasserdämpfe in einem vorgelegten Chlorecalciumrohr aufgefangen und kondensiert werden, und wenn dieses Rohr um 75 Milligramm an Gewicht zugenommen hat, während der nach dem Glühen erhaltene Rückstand von rotem Eisenoxyd 660 Milligramm wiegt, so hat man:

angewandt: 734 Milligramm, erhalten:	Eisenoxyd 660
	<u>Wasser 75</u>
	zusammen 735.

Man hätte also bei dem Versuche eine kleine Ungenauigkeit begangen, weil die Summe der Bestandteile mehr ausmacht, als das Gewicht der ursprünglichen Verbindung beträgt. Solche Versuchsfehler sind aber unvermeidlich. Eine längere Übung lehrt die Größe des Fehlers kennen, welcher zulässig ist, wofern die Analyse genau genannt werden darf.

Man pflegt die Resultate der Analyse prozentisch auszudrücken. Um dazu zu gelangen, wird man im obigen Falle den Ansatz machen: 734 Gewichtsteile Mineral gaben 660 Gewichtsteile Eisenoxyd, 100 Gewichtsteile Mineral würden geben x Gewichtsteile Eisenoxyd. Ferner 734 Gewichtsteile Mineral gaben 75 Gewichtsteile Wasser, 100 Gewichtsteile Mineral würden geben y Gewichtsteile Wasser.

$$734 : 660 = 100 : x$$

$$734 : 75 = 100 : y$$

$$x = 89.92 \text{ Prozent Eisenoxyd}$$

$$y = 10.22 \text{ „ Wasser}$$

zusammen 100.14.

Also zeigt auch hier der Überschuß den Versuchsfehler an.

Ein Beispiel für indirekte Bestimmung liefert die Analyse des Steinsalzes. Als Bestandteile gibt die qualitative Probe Chlor und Natrium an. Gesetzt nun, man hätte von dem reinen Mineral 345 Milligramm abgewogen und in Wasser aufgelöst, hierauf salpetersaures Silber solange zugefügt, als noch ein Niederschlag entsteht, so ist jetzt alles Chlor in dem Niederschlag enthalten, welcher aus Chlorsilber besteht. Nach dem Abfiltrieren, Auswaschen und Trocknen hätte derselbe das Gewicht von 844 Milligramm. In der Flüssigkeit, welche nach der Trennung dieses Niederschlages zurückblieb, ist noch etwas salpetersaures Silber enthalten, weil um etwas mehr zugesetzt wurde als notwendig war. Dieses wird wieder mittels Salzsäure in Chlorsilber verwandelt, der entstandene Niederschlag abfiltriert und beseitigt. Die zurückgebliebene Lösung enthält noch das Natrium des angewendeten Steinsalzes nebst den Elementen der Salpetersäure und Salzsäure. Wird nun Schwefelsäure zugesetzt und eingedampft, bis ein trockener Rückstand entsteht, so verflüchtigen sich die Salpetersäure, Salzsäure und die überschüssig zugesetzte Schwefelsäure und es hinterbleibt nach dem starken Erhitzen des Rückstandes nur schwefelsaures Natron, welches das Gewicht von 419 Milligramm ergäbe.

Man hat jetzt das Steinsalz in zwei getrennt gewogene Verbindungen, in Chlorsilber und schwefelsaures Natron verwandelt. Mit Hilfe eines analytischen Handbuches findet man nun, daß in 100 Teilen Chlorsilber 24.73 Teile Chlor enthalten seien, wonach in der gewogenen Menge von 844 Milligramm Chlorsilber 208.7 Milligramm Chlor enthalten sind. Ebenso findet man, daß in 100 Teilen schwefelsauren Natrons 32.43 Teile Natrium enthalten seien, wonach sich ergibt, daß die gewogenen 419 Milligramm dieses Salzes 135.9 Milligramm Natrium enthalten. Folglich:

angewandt: 345 Milligramm Steinsalz,

erhalten: Chlor 208.7 Milligramm oder 60.49 Prozent

Natrium 135.9 „ „ 39.38 „

344.6 99.87

Lit. H. Rose, Handbuch der analytischen Chemie, her. v. Finkener, 2 Bde., Leipzig, 1864, 1871. Fresenius, Anleitung zur quantitativen Analyse, 6. Aufl., 2 Bde., Braunschweig 1875, 1887. Classen, Handbuch der analytischen Chemie, 5. Aufl., Braunschweig, 1900, und ausgewählte Methoden der analytischen Chemie, Braunschweig, 1901. Ostwald, Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie, Leipzig, 1894. Hillebrand, Analyse der Silikat- und Karbonatgesteine, Leipzig 1910.

157. Gesetz der Verbindungsgewichte. Die Minerale, welche sich in ihren Eigenschaften vollkommen gleich verhalten, geben auch bei der gewichtsmäßigen Analyse dasselbe Verhältnis der Bestandteile. Reines Steinsalz vom ersten, zweiten,

dritten Fundort gibt immer dasselbe Verhältnis von Chlor und Natrium, welches im vorigen Beispiel angeführt wurde, und dieses Verhältnis wird bloß durch die unvermeidlichen Fehler der Beobachtung ein wenig modifiziert. Reiner Goethit von diesem oder jenem Fundort liefert stets dieselben Verhältniszahlen für Eisenoxyd und Wasser, wie dieselben früher angegeben wurden.

Auf diesem Gesetz der bestimmten Verbindungsverhältnisse gründet sich die gesamte Kenntnis von der gewichtsmäßigen Zusammensetzung der Minerale. Dasselbe gilt aber nicht bloß für Minerale, sondern für alle chemischen Verbindungen, die im reinen, im unvermengten Zustande der Analyse unterworfen werden.

Wenn jedoch solche Verbindungen, welche in ihren Eigenschaften verschieden sind, aber bei der Analyse dieselben Stoffe liefern, zerlegt werden, so stellt sich eine leicht erkennbare Beziehung heraus.

Der graue, rhombisch krystallisierende Kupferglanz und der dunkelblaue, trigonal krystallisierende Kupferindig bestehen aus den Elementen Schwefel und Kupfer. Die Gewichtsanalyse führt zu folgendem Resultat:

	Kupferglanz	Kupferindig
Schwefel	20·2	33·5
Kupfer	79·8	66·5

Berechnet man, wieviel Gewichtsteile Kupfer in beiden Verbindungen auf einen Gewichtsteil Schwefel kommen, so findet man:

	Kupferglanz	Kupferindig
Schwefel	1	1
Kupfer	3·96	1·98

so daß also im Kupferglanz zweimal so viel Kupfer mit derselben Schwefelmenge verbunden ist als im Kupferindig.

Rotkupfererz und Tenorit bestehen aus Kupfer und Sauerstoff. Die Analysen ergeben:

	Rotkupfererz	Tenorit
Sauerstoff	11·2	20·1
Kupfer	88·8	79·9

oder

Sauerstoff	1	1
Kupfer	7·96	3·98

Es ist also im Rotkupfererz zweimal so viel Kupfer mit derselben Sauerstoffmenge verbunden als im Tenorit.

Vier Minerale bestehen wesentlich aus Mangan und Sauerstoff: Manganosit, Hausmannit, Braunit und Pyrolusit.

Die Analysen dieser Minerale ergeben folgende Prozentzahlen:

	Manganosit	Hausmannit	Braunit	Pyrolusit
Sauerstoff	22·6	28·0	30·4	36·8
Mangan	77·4	72·0	69·6	63·2

Berechnet man, wieviel Sauerstoff auf jene Manganmenge kommt, die im Manganosit mit einem Gewichtsteil Sauerstoff verbunden ist, so erhält man folgende Zahlenreihe:

	Manganosit	Hausmannit	Braunit	Pyrolusit
Sauerstoff	1	1·34	1·51	2
Mangan	3·43	3·43	3·43	3·43

aus der sich ergibt, daß im Hausmannit die Sauerstoffmenge sehr nahe $\frac{4}{3}$, im Braunit $\frac{3}{2}$, im Pyrolusit 2mal so groß ist, wie im Manganosit; dies läßt sich nun auch so aussprechen, daß man von den Mengen Sauerstoff und Mangan im Manganosit ausgeht und im Hausmannit 4 solcher Gewichtsmengen Sauerstoff auf 3 Gewichtsmengen Mangan, im Braunit 3 Sauerstoff auf 2 Mangan, im Pyrolusit 2 Sauerstoff auf 1 Mangan annimmt.

Aus diesen Beispielen ergibt sich folgendes Gesetz: Sind die Gewichtsverhältnisse zweier Grundstoffe in einer ihrer Verbindungen gegeben durch $A : B$, so lassen sich die Gewichtsverhältnisse derselben Elemente in anderen davon verschiedenen Verbindungen darstellen durch $m A : n B$, wobei m und n ganze Zahlen, und zwar zumeist einfache ganze Zahlen sind.

Dieses Gesetz hat aber einen noch weiteren Geltungsbereich, wie aus folgendem Beispiel hervorgeht. Aus der Analyse des Tenorits ergibt sich das Verhältnis der Verbindungsgewichte von Kupfer zu Sauerstoff wie 3·98 zu 1. Aus der Zusammensetzung des Kupferindigs folgt, daß sich mit der gleichen Kupfermenge 2 Gewichtsteile Schwefel verbinden. Die Gewichtsmengen Sauerstoff und Schwefel, die sich mit derselben Menge Kupfer verbinden, verhalten sich somit wie 1 zu 2¹⁾. Nun kennt man zwei Verbindungen, die aus Sauerstoff und Schwefel bestehen, nämlich das Schwefeldioxyd und das Schwefeltrioxyd. Diese haben folgende gewichtsprozentische Zusammensetzung:

	Schwefeldioxyd	Schwefeltrioxyd
Schwefel	50	40
Sauerstoff	50	60

Bezeichnet man das Verbindungsgewicht, mit welchem Schwefel im Kupferindig mit dem Verbindungsgewicht A von Kupfer verbunden ist, mit B , das Verbindungsgewicht des Sauerstoffs im Tenorit mit C , so ist das Verbindungsgewicht der beiden Elemente im Schwefeldioxyd ausdrückbar durch $B : 2C$, im Schwefeltrioxyd durch $B : 3C$ und es ergibt sich der Satz: Bestimmt man die Verbindungsgewichte zweier Grundstoffe mit einem dritten, so beherrschen die so gefundenen Gewichtsverhältnisse und deren ganzzahlige Vielfache auch die Verbindung der zwei ersten Elemente untereinander.

Man kann also jedem Grundstoff ein bestimmtes Verbindungsgewicht zuschreiben, und diese Verbindungsgewichte und deren ganzzahlige Vielfache bestimmen alsdann die Mengen, mit denen das betreffende Element in irgend einer Verbindung mit irgendwelchen anderen Elementen sich beteiligt.

Dies läßt sich mathematisch ausdrücken: Sind $A, B, C, D \dots$ die aus irgendwelchen Verbindungen einer Reihe von Elementen abgeleiteten Verbindungs-

¹⁾ Nach den genauesten Analysen ist das Verhältnis nicht genau 1 : 2, sondern 1 : 2·0044.

gewichte, so sind die Mengen, mit denen diese Elemente in irgendwelchen anderen Verbindungen auftreten, ausdrückbar durch mA , nB , pC , oD . . . , wobei m , n , p , o irgendwelche ganze Zahlen sind.

158. Atomhypothese. Dieses Gesetz wurde zu Anfang des XIX. Jahrhunderts von Dalton aufgestellt und hat sich seither in unzähligen Fällen und bei den sorgfältigsten Untersuchungen bewährt. Namentlich Berzelius und seine Schüler stellten den Geltungsbereich dieses Gesetzes in vollem Umfange durch genaue Analysen fest.

Für Dalton hatte übrigens dieses Gesetz nur Bedeutung, insofern es sich als notwendige Konsequenz der Vorstellung vom atomistischen Aufbau der chemischen Grundstoffe und Verbindungen ergab. Nach dieser Hypothese, welche gegenwärtig mehr als je die Vorstellungsweise und die wissenschaftliche Sprache der Chemiker beherrscht, besteht jeder Stoff aus winzig kleinen gleichartigen Teilen, den Molekeln. Wenn chemische Veränderungen mit einem Stoff vorgenommen werden, müssen sie sich an den einzelnen Molekeln vollziehen. Daher wird angenommen, daß die Molekel selbst aus noch kleineren Teilen, den Atomen, bestehen, deren es so viele Arten gibt, als chemische Grundstoffe bekannt sind. Die Atome eines und desselben Elementes sind alle untereinander gleich und haben ein bestimmtes Gewicht — das Atomgewicht. Eine chemische Verbindung kommt dadurch zu stande, daß Atome zweier oder mehrerer Grundstoffe in bestimmter Anzahl sich aneinanderlagern, festgehalten durch jene Anziehungskräfte, die als chemische Verwandtschaft bezeichnet werden,ⁱ und eine zusammengesetzte Molekel bilden, ein Planetensystem im kleinen. Die Summe der Gewichte der zusammengelagerten Atome ist das Molekulargewicht der Verbindung.

Bei Festhaltung dieser Vorstellung erscheinen nun die vorhin genannten einfachen Verbindungsgewichte der Elemente A , B , C , D u. s. w. als die relativen Atomgewichte, die ganzzahligen Faktoren m , n , p u. s. w. geben aber die Zahl an, in der die betreffenden Elementaratome zur Molekel der Verbindung zusammentreten.

Dabei bleibt zunächst eine gewisse Unsicherheit, ja Willkür in der Wahl der einfachsten Verbindungsgewichte. Ein Beispiel mag das klar machen. In der Reihe der Mangan-Sauerstoff-Verbindungen nimmt man an, daß sich in dem Manganosit ein Atom Mangan mit einem Atom Sauerstoff verbindet, Die Atomgewichte von Mangan und Sauerstoff verhalten sich somit wie $3.43 : 1$; für die übrigen Verbindungen ergibt sich sodann folgende Deutung:

	Manganatome	Sauerstoffatome
Manganosit	1	1
Hausmannit	3	4
Braunit	2	3
Pyrolusit	1	2

Man könnte aber auch vom Pyrolusit ausgehen und annehmen, daß in diesem ein Atom Mangan mit einem Atom Sauerstoff verbunden sei. Dann wäre das

Atomgewicht des Mangans in bezug auf Sauerstoff = 1 gleich 1·715 zu setzen und die Tabelle würde diese Form annehmen:

	Manganatome	Sauerstoffatome
Manganosit.....	2	1
Hausmannit.....	3	2
Braunit.....	4	3
Pyrolusit.....	1	1

159. Molekulargewicht. Für die Elemente, deren Verbindungen sich in Gasform darstellen lassen, wurde eine Beseitigung dieser Unsicherheit angebahnt durch die Entdeckung Gay-Lussacs, daß die gasförmigen Elemente in sehr einfachen, durch ganze Zahlen ausdrückbaren Volumverhältnissen zu Verbindungen zusammentreten und daß auch das Volumen der Verbindung, wenn sie in Gasform dargestellt werden kann, in einem einfachen ganzzahligen Verhältnis zum Volumen der Bestandteile steht.

So verbinden sich gleiche Volumen von Wasserstoff- und Chlorgas zu Salzsäuregas, und das Volumen der Verbindung ist gleich der Summe der Volumen der Bestandteile. Zwei Volumen Wasserstoff und ein Volumen Sauerstoff verbinden sich zu Wasser, und wird dieses Wasser in Dampf verwandelt, so nimmt es denselben Raum ein, wie die zwei Volumen Wasserstoff. Ein Volumen Stickstoff und drei Volumen Wasserstoff verbinden sich zu zwei Volumen Ammoniakgas. Vorausgesetzt wird, daß die Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gemessen werden.

Diese einfachen Verhältnisse veranlaßten Avogadro zu der Hypothese, daß gleiche Volumina von Gasen, seien es einfache Stoffe oder bestimmte Verbindungen, bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck gleich viele Molekel enthalten. Diese Vorstellung hat in der kinetischen Gastheorie eine weitere Ausgestaltung erfahren und bildet eine wichtige Grundlage für die Vorstellungen der Physiker vom Gaszustand.

In dem kristallographischen Teile wurde schon auf jene Hypothese hingewiesen, die in den Krystallen eine regelmäßige Anordnung schwebender Teilchen sieht, welche durch denselben innewohnende Kräfte im Gleichgewicht erhalten werden [32]. In den amorphen starren Körpern befinden sich diese Teilchen, die Molekeln, auch in einer Ruhelage, jedoch ohne regelmäßige Anordnung. In dem flüssigen und dampfförmigen Zustande sind die Molekeln in einer beständigen Bewegung begriffen. Diese ist in der Flüssigkeit noch durch die gegenseitige Anziehung der Molekeln gehemmt, aber an der freien Oberfläche werden beständig Molekeln herausgeschleudert, welche nun Dampfform annehmen (Verdampfung). In den Gasen und Dämpfen herrscht eine freie Bewegung der Molekeln, die mit großer Geschwindigkeit in geradlinigen Bahnen durcheinanderfliegen, in Bahnen, deren Richtung infolge der Zusammenstöße und des Anpralles an die Gefäßwände beständig sich verändert. Zuzufolge dieser Bewegungen üben die Gase und Dämpfe einen Druck auf die Umgebung aus und füllen jeden Raum, der ihnen geboten wird, mit großer Geschwindigkeit aus (Expansivkraft). Die

Geschwindigkeit der Molekularbewegung in den Gasen bedingt die Temperatur derselben.

Denkt man sich mehrere gleich große Gefäße mit verschiedenen Gasen angefüllt, deren jedes homogen ist und einen Grundstoff oder eine bestimmte Verbindung darstellt, und setzt man voraus, daß in allen diesen Gefäßen derselbe Druck und dieselbe Temperatur herrschen, so verlangt die erwähnte Hypothese, daß in jedem dieser Gefäße gleich viele Molekeln enthalten seien. Ist nun P_1 das Gewicht des Gases in dem ersten Gefäß, P_2 das Gewicht des Gases in dem zweiten u. s. f., ist ferner m_1 das Gewicht einer Molekel des ersten Gases, m_2 das Gewicht einer Molekel des zweiten u. s. f., endlich N die Zahl der Molekeln, so hat man $P_1 = m_1N$, $P_2 = m_2N$, $P_3 = m_3N \dots$, wonach sich die Beziehung ergibt:

$$P_1 : P_2 : P_3 = m_1 : m_2 : m_3,$$

d. h. die Gewichte gleicher Volumen verhalten sich wie die Molekulargewichte.

160. Atomgewicht. Der Satz von Avogadro in Verbindung mit dem Gesetz von Gay-Lussac (die einfachen Gase verbinden sich nach rationalen Volumverhältnissen zu gasförmigen Verbindungen) gestattet nun eine sehr einfache Deutung der Verbindungsgewichte.

Ein Liter Wasserstoffgas wiegt	0.09 Gramm
ein „ Chlorgas wiegt	3.17
zwei „ Salzsäuregas wiegen	3.26
ein „ „ wiegt somit	1.63

Die einfachste Annahme, die man zur Erläuterung dieser Tatsachen machen kann, ist die, daß sowohl im Wasserstoffgas als im Chlorgas jede Molekel aus zwei Atomen des betreffenden Elementes besteht und daß im Salzsäuregas je ein Wasserstoffatom und je ein Chloratom zu einer Molekel Salzsäuregas zusammengelagert sind. Setzt man das relative Atomgewicht des Wasserstoffs gleich 1, so ist das Molekulargewicht des Wasserstoffs gleich 2, das Molekulargewicht des Chlorgases gleich 70.4, das Atomgewicht des Chlors gleich 35.2, das Molekulargewicht der Salzsäure gleich 36.2.

Bei der Zerlegung des Wassers erhält man auf zwei Liter Wasserstoffgas ein Liter Sauerstoffgas; durch Vereinigung erhält man zwei Liter Wasserdampf; die Ermittlung der Dichten liefert:

Gewicht von zwei Litern Wasserstoff	0.18 Gramm
„ „ einem Liter Sauerstoff	1.43
„ „ zwei Litern Wasserdampf	1.61
„ „ einem Liter „	0.805

Die einfachste Annahme ist hier die, daß auch in der Sauerstoffmolekel zwei Sauerstoffatome vorhanden sind, die sich auf die doppelte Menge Wasserstoffmolekel verteilen, so daß jede Molekel Wasserdampf aus zwei Wasserstoffatomen und aus einem Sauerstoffatom besteht.

Da das Gewichtsverhältnis von Wasserstoff zu Sauerstoff (0.18 : 1.43) fast genau 1 : 8 oder 2 : 16 ist, so wird man unter Beibehaltung des Atomgewichtes

Wasserstoff gleich 1 für das Atomgewicht Sauerstoff 16 anzunehmen haben. Das Molekulargewicht Sauerstoff ist aber im Verhältnis zum Wasserstoff gleich 1.43 zu 0.09 oder sehr nahe 32 : 2.

Durch ähnliche Überlegungen erhält man in einer Reihe von gasförmigen Verbindungen einfacher Gase folgende Resultate :

	Molekulargewicht	Chlor	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Salzsäure	36 1/2	35 1/2	1	—	—
Wasser	18	—	2	16	—
Stickoxyd	30	—	—	16	14
Stickoxydul	44	—	—	16	28
Ammoniak	17	—	3	—	14
Sauerstoffgas	32	—	—	32	—
Wasserstoffgas	2	—	2	—	—
Stickstoffgas	28	—	—	—	28
Chlorgas	71	71	—	—	—

Beim Vergleiche dieser Zahlen ergibt sich, daß das kleinste Verbindungsgewicht für Stickstoff 14, für Sauerstoff 16, für Chlor 35 1/2 ist. Für Wasserstoff wurden die Zahlen 2 und 3, also Vielfache von 1, gefunden. Die Atom- oder Verbindungsgewichte der vier genannten Stoffe sind demnach 14, 16, 35 1/2, 1.

Nach dem Vorgange von Berzelius werden die Verbindungsgewichte durch Buchstaben, die auf den Namen des Grundstoffes Bezug haben, bezeichnet, und so wird für jeden Grundstoff ein Symbol aufgestellt, welches eine Qualität und zugleich eine Quantität angibt. *N* bedeutet 14 Gewichtsteile Stickstoff, *O* bedeutet 16 Gewichtsteile Sauerstoff, *H* einen Gewichtsteil Wasserstoff. Um die Verhältnisse der einfachen Stoffe in einer Verbindung auszudrücken, werden die Verhältniszahlen weggelassen, die Koeffizienten dem Symbol angehängt. Das in solcher Weise geschriebene Verhältnis bildet die chemische Formel einer Verbindung. Die Formel für Wasser ist demnach H_2O , für Stickoxyd NO , für Stickoxydul N_2O , für Ammoniak NH_3 , für Salzsäure HCl .

Für Sauerstoffgas, Stickstoffgas, Wasserstoffgas, Chlorgas ergeben sich die Formeln O_2 , N_2 , H_2 , Cl_2 , wodurch angedeutet wird, daß auch hier Verbindungen vorliegen. Durch Versuche, die eine wenn auch vorübergehende Zerlegung beweisen, wird auch dieses Resultat bestätigt.

Da die Atomgewichte durch den Vergleich der Molekulargewichte sich ergeben, diese aber nach dem Volumgesetze gasförmiger Körper abgeleitet sind, so würden die Atomgewichte nur für solche Grundstoffe gelten, deren Verbindungen die Bestimmung der Dampfdichte gestatten. So bliebe die Bewertung einer größeren Anzahl von Atomgewichten unsicher und dies bezieht sich namentlich auf die Schwermetalle. Hier kommt nun das Gesetz der gleichen Atomwärmen von Dulong und Petit in Betracht. Nach diesem bringen Gewichte von Metallen, welche im Verhältnisse ihrer Atomgewichte stehen, bei der Abkühlung um gleich viele Grade in derselben Menge umgebenden Wassers die gleiche Temperaturerhöhung hervor. Das Atomgewicht des Arsens wurde auf dem früher bezeichneten

Wege zu 75 bestimmt. Werden 75 Gramm Arsen bei gewöhnlichen Temperaturen um 10° sich abkühlen, so bringt die dabei abgegebene Wärme in den umgebenden 100 Gramm Wasser eine Temperaturerhöhung von 0.62° hervor. Fast genau ebensogroß ist unter denselben Umständen der Effekt, wenn 56 Gramm Eisen, 65.4 Gramm Zink, 107.9 Gramm Silber, 197.2 Gramm Gold oder 207.1 Gramm Blei angewendet werden. Diese Zahlen sind aber dieselben wie die gegenwärtig angenommenen Atomgewichte.

In den letzten Jahren sind noch einige andere Methoden hinzugekommen, welche die Ermittlung des Molekulargewichtes von Verbindungen gestatten, wenn sich diese in Form von verdünnten Lösungen darstellen lassen.

Es ist aber festzuhalten, daß der Begriff Molekulargewicht, Molekelgröße nur für die gasförmigen und flüssigen Verbindungen einen bestimmten physikalisch deutbaren Sinn hat, während die Bedeutung dieser Ausdrücke für feste Körper durchaus problematisch ist.

Die atomistische Hypothese ist in die heutige Darstellung der chemischen Vorgänge so vollständig aufgenommen, daß ihre Art der Bezeichnung ausnahmslos gebraucht wird. Für das Atom wird ein Symbol gesetzt, welches den einfachen Stoff nennt, aus welchem das Atom besteht und zugleich dessen Gewicht bedeutet. Die Atomgewichtssymbole sind in den verschiedenen Sprachen gleich, mit sehr geringen Abweichungen, so z. B. in Frankreich Az (Azotum) statt N (Nitrogenium) für Stickstoff. Die Symbole sind Abkürzungen der lateinischen Namen der Elemente. In den folgenden Fällen sind diese von den deutschen Bezeichnungen merklich verschieden:

Antimon	== Stibium	Sauerstoff	== Oxygenium
Blei	== Plumbum	Schwefel	== Sulfur
Eisen	== Ferrum	Silber	== Argentum
Gold	== Aurum	Stickstoff	== Nitrogenium
Kohlenstoff	== Carbonium	Wasserstoff	== Hydrogenium
Kupfer	== Cuprum	Wismut	== Bismutum
Quecksilber	== Hydrargyrum	Zinn	== Stannum

Durch genaue Bestimmungen des Gewichtsverhältnisses von Wasserstoff und Sauerstoff im Wasser hat sich herausgestellt, daß dieses Verhältnis nicht, wie früher angenommen wurde, $1 : 8$, sondern $1.008 : 8$ ist. Dementsprechend muß, wofern $O = 16$ beibehalten wird, $H = 1.008$ gesetzt werden. Wenn hingegen für Wasserstoff die Einheit angenommen wird, so müßte das Verbindungsgewicht für Sauerstoff entsprechend vermindert werden. Die Mehrzahl der Chemiker ist aber darin übereingekommen, für die Verbindungsgewichte die Grundlage $O = 16$, $H = 1.008$ anzunehmen.

Auf Grund möglichst genauer Versuche sind die jetzt im Gebrauche stehenden Verbindungsgewichte oder Atomgewichte bestimmt, welche in der nebenstehenden Tafel zugleich mit ihren Symbolen angeführt werden.

Lit. O. E. Meyer, Die kinetische Theorie der Gase, Breslau 1899. Lothar Meyer, Grundzüge der theoret. Chemie, 3. Aufl., Leipzig 1902.

Namen	Symbol	Atomg.	Namen	Symbol	Atomg.
Aluminium	Al	27·1	Neon	Ne	20 2
Antimon	Sb	120·2	Nickel	Ni	58·68
Argon	Ar	39·88	Niobium	Nb	93·5
Arsen	As	74·96	Niton	Nt	222·4
Baryum	Ba	137·37	Osmium	Os	190·9
Beryllium	Be	9·1	Palladium	Pd	106·7
Blei	Pb	207·10	Phosphor	P	31·04
Bor	B	11·0	Platin	Pt	195·2
Brom	Br	79 92	Praseodym	Pr	140·6
Cadmium	Cd	112·40	Quecksilber	Hg	200·6
Caesium	Cs	132·81	Radium	Ra	226
Calcium	Ca	40·07	Rhodium	Rh	102·9
Cerium	Ce	140·25	Rubidium	Rb	85·45
Chlor	Cl	35·46	Ruthenium	Ru	101·7
Chrom	Cr	52·0	Samarium	Sm	150·4
Dysprosium	Dy	162·5	Sauerstoff	O	16·0
Eisen	Fe	55·84	Scandium	Sc	44·1
Erbium	Er	167·7	Schwefel	S	32·07
Europium	Eu	152·0	Selen	Se	79·2
Fluor	F	19·0	Silber	Ag	107·88
Gadolinium	Gd	157·3	Silicium	Si	28·3
Gallium	Ga	69·9	Stickstoff	N	14·01
Germanium	Ge	72·5	Strontium	Sr	87·63
Gold	Au	197·2	Tantal	Ta	181·5
Helium	He	3·99	Tellur	Te	127·5
Indium	In	114·8	Terbium	Tb	159·2
Iridium	Ir	193·1	Thallium	Tl	204·0
Jod	J	126·92	Thorium	Th	232 4
Kalium	K	39·10	Thulium	Tu	168·5
Kobalt	Co	58·97	Titan	Ti	48·1
Kohlenstoff	C	12·00	Uran	U	238·5
Krypton	Kr	82·9	Vanadin	V	51·0
Kupfer	Cu	63·57	Wasserstoff	H	1·008
Lanthan	La	139·0	Wismut	Bi	208·0
Lithium	Li	6·94	Wolfram	W	184·0
Lutetium	Lu	174·0	Xenon	X	130·2
Magnesium	Mg	24·32	Ytterbium	Yb	172·0
Mangan	Mn	54·93	Yttrium	Y	89·0
Molybdän	Mo	96·0	Zink	Zn	65·37
Natrium	Na	23·00	Zinn	Sn	119·0
Neodym	Nd	144·3	Zirkonium	Zr	90·6

161. Formeln. Die gegenwärtig gebrauchten chemischen Formeln sind ihrer Bedeutung nach von zweierlei Art. Für jene Verbindungen, deren Molekulargewicht durch Bestimmung der Dampfdichte ermittelt ist, können Molekularformeln geschrieben werden. Diese zählen die Atome auf, welche in der Molekel enthalten sind, z. B. $H + H + O$ oder H_2O . Für jene Verbindungen aber, deren Molekulargewicht wir bis jetzt nicht kennen, und dieses ist bei fast allen Mineralen der Fall, lassen sich nur die Gewichtsverhältnisse unter Benützung der Atomgewichte angeben. Die für Minerale gebrauchten Formeln sind daher fast durchwegs Verhältnisformeln, z. B. für das lichte Rotgiltigerz $3 Ag : As : 3 S$. In beiderlei Formeln pflegt man jedoch die Pluszeichen und die Verhältniszeichen wegzulassen, ferner die Koeffizienten rechts unten statt vorne zu schreiben, z. B. $H_2 O$ oder $Ag_3 As S_3$. Äußerlich ist daher der Unterschied zwischen den beiden Arten von Formeln aufgehoben. Man darf sich aber dadurch nicht irremachen lassen. Vor allem ist zu erinnern, daß man die Formel eines Mineralen mit jeder beliebigen Zahl multiplizieren darf, ferner, daß man die Formel, die ja nur ein Verhältnis darstellt, durch Division mit derselben Zahl abkürzen kann.

Solange die Formel nichts weiter ausdrücken soll oder kann als das Gewichtsverhältnis der Bestandteile, schreibt man die kleinste Formel, d. i. den Ausdruck mit den kleinsten Koeffizienten, also $Ag_3 As S_3$ anstatt einer größeren, wie z. B. $Ag_6 As_2 S_6$ etc. Wenn man aber mit den Molekularformeln verwandter künstlicher Verbindungen nicht in Widerspruch geraten will oder wenn man eine wahrscheinliche Molekularformel zu schreiben gedenkt, so wird man zuweilen höhere Zahlen schreiben, auch wenn sich eine Abkürzung vornehmen ließe, z. B. für den Kupferkies $Cu_2 Fe_2 S_4$. In den Fällen, da sich in der Formel eine ganze Gruppe von Atomen wiederholt, schreibt man den Koeffizienten vor das Zeichen derselben und nach derselben einen Punkt, oder gibt dieselbe in Paranthese, z. B. $2 NH_4 \cdot SO_4$ oder $2 (NH_4) SO_4$ statt $N_2 H_8 SO_4$. Die Schreibweise der Mineralformeln ist entweder eine empirische, wie in den zuletzt aufgeführten Beispielen, oder sie ist eine gruppierende, wofern in denselben Atomgruppen, welche einfachen Verbindungen entsprechen, hervorgehoben werden, z. B. für Kupferkies in der Formel: $Cu_2 S \cdot Fe_2 S_3$.

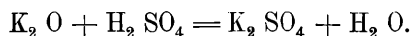
162. Reaktion. Jede chemische Veränderung ist eine Bildung neuer Verbindungen aus den früher vorhandenen. Führt die Erscheinung zur Bildung komplizierter zusammengesetzter Verbindungen, so spricht man von einem Aufbau, führt sie zur Entstehung einfacherer Molekeln, so spricht man von einem Zerfall, bleibt sich die Zahl der Molekeln vor und nach der Erscheinung gleich, so nennt man den Vorgang einen Austausch. Die chemische Veränderung oder Reaktion wird durch eine Gleichung ausgedrückt, in welcher links der ursprüngliche, rechts der neue Zustand angeführt wird. Diese Gleichung bezieht sich aber nur auf die Gewichtsverhältnisse und läßt den Umstand außer Betracht, daß bei den chemischen Reaktionen auch meßbare Mengen von Energie umgesetzt werden. Bei der Zerlegung des Wassers durch den galvanischen Strom wird dem Wasser ein bestimmtes Quantum Energie zugeführt, welches sich in den ent-

standenen Produkten: Wasserstoffgas und Sauerstoffgas verbirgt (gebundene Energie). Wenn aus den beiden genannten Gasen wiederum Wasser gebildet wird, so geschieht dies unter Entwicklung von Wärme, welche die Knallgasexplosion hervorruft. Die vorhin gebundene Energie wird jetzt in Form von Wärme wieder entwickelt (freie Energie). Die vollständige Reaktionsgleichung müßte demnach auch auf die Energiemengen, die ins Spiel kommen, Rücksicht nehmen, doch werden in der Folge nur die Gewichtsverhältnisse angeführt.

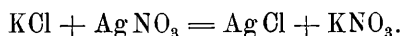
Die Verbindungen geschehen zuweilen durch Addition, so z. B. bildet sich kohlenaurer Kalk beim Zusammentreffen von Kalk und Kohlendioxyd $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$.

Manchmal ereignet sich ein direkter Zerfall einer Verbindung, so beim Glühen des kohlenaurer Kalkes $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$.

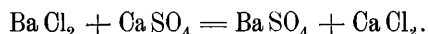
Die gewöhnliche chemische Wirkung oder Reaktion besteht in einem Austausch, welcher als eine Vereinigung von Molekeln und ein unmittelbar darauffolgendes Zerfallen erscheint. Dieses Zerfallen erfolgt aber in einem anderen Sinne als dem der Vereinigung. Ein Beispiel wäre die Einwirkung von Schwefelsäure H_2SO_4 auf Kaliumoxyd, wodurch Kaliumsulfat und Wasser gebildet werden:



Der Vorgang ist derart, als ob H_2 gegen K_2 oder als ob SO_4 gegen O ausgetauscht worden wäre. Ein anderer Fall ereignet sich beim Zusammentreffen von Chlorkalium KCl und Silbernitrat AgNO_3 in wässriger Lösung, wobei Chlorsilber und Kaliumnitrat gebildet werden:

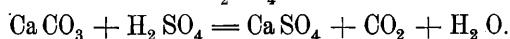


Hier wäre der Austausch von K und Ag oder jener von Cl gegen NO_3 zu bemerken. Ein dem vorigen entsprechender Fall ist die Wirkung von Chlorbaryum BaCl_2 auf eine Auflösung von Calciumsulfat CaSO_4 , wodurch Baryumsulfat und Chlorcalcium entstehen:



Dies könnte als ein Austausch von Ba gegen Ca oder von Cl_2 gegen SO_4 aufgefaßt werden. Wenn ein solcher Austausch in wässriger Lösung stattfindet, so zeigt sich jedesmal, daß eine der neuentstandenen Verbindungen schwerer löslich ist als die früher vorhandenen. Die schwerer löslichen Verbindungen sind in den vorigen drei Beispielen K_2SO_4 , AgCl , BaSO_4 .

Die Reaktionen sind öfter zum Teile Austausch, zum Teile Zerlegung, so bei der Einwirkung von Schwefelsäure H_2SO_4 auf Calciumkarbonat CaCO_3 .



Hier zeigt der rechte Teil der Gleichung den Austausch von Ca gegen H_2 und zugleich ein Zerfallen, weil CO_2 und H_2O hier keine Verbindung miteinander bilden.

Nennt man die Atome und Atomgruppen, welche gegeneinander ausgetauscht werden, äquivalent und bezeichnet die Äquivalenz durch ∞ , so hat man in den vier angeführten Beispielen $\text{K}_2 \infty \text{H}_2$, $\text{K} \infty \text{Ag}$, $\text{Ba} \infty \text{Ca}$, $\text{Ca} \infty \text{H}_2$ und andererseits $\text{O} \infty \text{SO}_4$, $\text{Cl} \infty \text{NO}_3$, $\text{Cl}_2 \infty \text{SO}_4$, $\text{CO}_3 \infty \text{SO}_4$. Demnach sind miteinander äquivalent:

$H \sim K \sim Ag$, ferner $H_2 \sim K_2 \sim Ca \sim Ba$, ferner $Cl \sim NO_3$ und $Cl_2 \sim O \sim SO_4 \sim CO_3$. Das Äquivalent von Ca und Ba ist demnach doppelt so groß als das Äquivalent von H, K, Ag u. s. f.

Den Äquivalenten, wie sich dieselben bei dem Austausch ergeben, entsprechen auch die elektrischen Äquivalente. Nach dem von Faraday gefundenen Gesetze sind die bei der Zersetzung durch den gleichen galvanischen Strom ausgeschiedenen Mengen den Äquivalenten proportional. Derselbe Strom, welcher Wasser H_2O , Bleioxyd PbO , Bleichlorid $PbCl_2$ zerlegt, scheidet die erste Verbindung so, daß gegen 1 Gewichtsteil Wasserstoff 8 Gewichtsteile Sauerstoff entstehen, die zweite so, daß gegen 103·5 Gewichtsteile Blei 8 Gewichtsteile Sauerstoff und die dritte so, daß gegen 103·5 Gewichtsteile Blei 35·46 Gewichtsteile Chlor gebildet werden. Diese Mengen sind aber dieselben, welche vorher als äquivalente bezeichnet wurden. Zugleich zeigt sich, daß der Wasserstoff und die Metalle immer an dem negativen Pole abgeschieden werden, die übrigen Stoffe, wie Sauerstoff, Chlor oder die Gruppen NO_3 , SO_4 an dem positiven Pol. Dementsprechend wurden Wasserstoff und die Metalle als elektropositive Bestandteile von den anderen, den elektronegativen, unterschieden.

Die Vorstellungen Faradays haben in neuerer Zeit eine Fortentwicklung erfahren, die hier kurz angedeutet werden soll. Danach würden die elektropositiven Atome eine starke Verwandtschaft zu den positiv elektrischen Elementarteilchen Elektronen besitzen, die elektronegativen Atome und Atomgruppen zu den negativen Elektronen. Die Elektronen verbinden sich mit den chemischen Atomen nach Maßgabe von deren Valenz, so daß ein einwertiges Atom ein Elektron bindet, ein zweiwertiges zwei u. s. f. Die Verbindung eines chemischen Atoms oder einer Atomgruppe mit der der Wertigkeit entsprechenden Anzahl von Elektronen bildet das Vehikel, durch welches die positive Elektrizität bei elektrolytischer Leitung von der Anode zur Kathode, die negative Elektrizität umgekehrt geführt wird, und wofür Faraday die Namen Ionen, Kation, Anion eingeführt hat. Bei der Verbindung eines Kations mit einem Anion wirkt außer der chemischen Valenz auch die elektrische Anziehung der beiderlei Elektronen mit, die sich dabei neutralisieren. Derartige Verbindungen haben die Fähigkeit, sich unter gewissen Umständen (Auflösung in einem Lösungsmittel oder im geschmolzenen Zustand) in Ionen zu spalten, indem sie die ihrer Valenz entsprechenden Elektronen aufnehmen; dieser Vorgang wird als elektrolytische Dissoziation bezeichnet und spielt bei der Deutung chemischer Reaktionen eine wichtige Rolle.

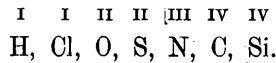
163. Wasserstoffverbindungen. Aus den Dampfdichten folgt, daß die einfachen Stoffe meistens schon Verbindungen sind, indem zwei oder mehrere Atome in der Molekel enthalten sind, z. B. Wasserstoffgas H_2 , Chlorgas Cl_2 , Sauerstoffgas O_2 , Phosphordampf P_4 . Selten ist die Molekel einfach, d. i. sie besteht nur aus einem Atom, z. B. beim Quecksilber Hg, Kadmium Cd.

Von den einfachen Verbindungen verschiedenartiger Atome sind folgende als für die Klassifikation wichtige Beispiele anzuführen:

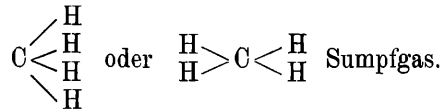
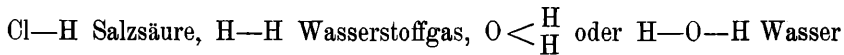
HH	Wasserstoffgas.	ClH	Salzsäure oder Chlorwasserstoff.
OH ₂	Wasser.	SH ₂	Schwefelwasserstoff.
NH ₃	Ammoniak.	PH ₃	Phosphorwasserstoff.
CH ₄	Sumpfgas.	SiH ₄	Siliciumwasserstoff.

Die Wasserstoffverbindungen dienen als Ausgangspunkt einer Klassifikation der Atome. Die angeführten Beispiele zeigen, daß von den Atomen die einen eine

größere, die anderen eine geringere Anzahl von Wasserstoffatomen zu binden vermögen; sie besitzen, wie man zu sagen pflegt, eine verschiedene Bindekraft oder Valenz, ihr chemischer Wert ist verschieden. Demnach kann man das Wasserstoffatom und das Chloratom einwertig, das Sauerstoffatom zweiwertig, das Stickstoffatom dreiwertig, das Kohlenstoffatom vierwertig nennen. Für den Anfänger werden die Valenzen öfter durch römische Ziffern angedeutet, z. B.:



Ferner wird die Bindung der Atome untereinander zuweilen durch Striche, deren jeder eine Valenzeinheit bedeutet, ausgedrückt, also:



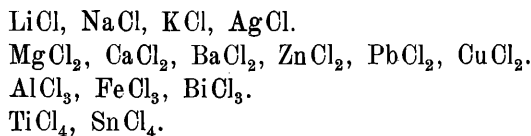
Hinrichsen, Über den gegenwärtigen Stand der Valenzlehre, Sammlung chem. u. techn. Vorträge, Bd. 7 (1902).

164. Chlorverbindungen.

HCl	Salzsäure.		
OCl ₂	Sauerstoffbichlorid.	SCl ₂	Schwefelbichlorid.
PCl ₃	Phosphorchlorür.	AsCl ₃	Arsenchlorür.
CCl ₄	Kohlenstoffchlorid.	SiCl ₄	Siliciumchlorid.
PCl ₅	Phosphorchlorid.	SbCl ₅	Antimonchlorid.

Da sich hier und in vielen anderen Fällen eine Analogie der Wasserstoff- und der Chlorverbindungen ergibt, so benutzt man auch die Chlorverbindungen zur Bestimmung der Valenz, es zeigt sich aber schon an den Beispielen PCl₃ und PCl₅, daß man es hier nicht mit konstanten Zahlen zu tun habe. Viele Chemiker denken sich aber die Valenz konstant, also das Phosphoratom fünfwertig, und halten die Verbindungen, wie PCl₃, für unvollständig gesättigt, ebenso das Arsen für fünfwertig und AsCl₃ für eine unvollständig gesättigte Verbindung, als Cl₂ = P ≡ Cl₃ Phosphorchlorid, = P ≡ Cl₃ Phosphorchlorür. Ebenso gilt das Stickstoffatom als fünfwertig, wonach = N ≡ H₃ Ammoniak eine ungesättigte Verbindung, und man sagt hier, P und N sind fünfwertig, sie verhalten sich aber in manchen Verbindungen dreiwertig. Demnach wird unter Valenz häufig das Maximum der Valenz verstanden.

Von den Chloriden der Metalle sind noch als Beispiele anzuführen:



Im folgenden wird angegeben, wie sich die in den Mineralen häufiger vorkommenden einfachen Stoffe bezüglich der Valenz verhalten. Das gegenwärtig angenommene Maximum der Valenz ist durch römische Ziffern ausgedrückt:

einwertig:	H, Li, Na, K, Ag	I
„	Cu	II
„	F, Cl, Br, J	VII
zweiwertig:	Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg	II
„	Pb	IV
„	O, S, Se, Te, Cr	VI
„	Mn, auch drei-, auch vierwertig	VII
„	Fe, Co, Ni „ „ „	VIII
dreiwertig:	B, Al	III
„	N, P, V, As, Sb, Bi	V
vierwertig:	C, Si, Ti, Sn	IV

Die Verbindungen der Metalle von wechselnder Valenz werden bisweilen durch eine charakteristische Silbe unterschieden. Verbindungen des einwertigen Kupfers heißen Cuproverbindungen, z. B. CuCl Cuprochlorid (früher Kupferchlorür), jene des zweiwertigen Kupfers Cupriverbindungen, z. B. CuCl_2 Cuprichlorid (früher Kupferchlorid). Verbindungen des zweiwertigen Eisens, Mangans heißen Ferro- und Manganoverbindungen, z. B. FeCl_2 Ferrochlorid, MnCl_2 Manganochlorid (früher Eisenchlorür, Manganchlorür), hingegen die Verbindungen bei höherer Valenz Ferriverbindungen, z. B. FeCl_3 Ferrichlorid (früher Eisenchlorid).

165. Sauerstoffverbindungen.

A. Oxyde.

Wassertypus: H_2O Wasser, die Alkalien: K_2O Kali, Na_2O Natron, Li_2O Lithion.

Cu_2O Cupro-Oxyd (Kupferoxydul).

Monoxyde: Die Erden: BeO Beryllerde, MgO Magnesia, CaO Kalkerde oder Kalk, SrO , BaO , ferner Schwermetalloxyde, wie PbO , ZnO , CuO Cupri-Oxyd, FeO Ferro-Oxyd (Eisenoxydul), MnO Mangan-Oxyd (Manganoxydul).

Sesquioxyde: Al_2O_3 Tonerde, Fe_2O_3 Ferri-Oxyd (Eisenoxyd), Mn_2O_3 Mangani-Oxyd (Manganoxyd), Cr_2O_3 Chromoxyd, Ti_2O_3 Titanoxyd. As_2O_3 Arsenoxyd, Sb_2O_3 , Bi_2O_3 .

Dioxyde: CO_2 Kohlendioxyd, SiO_2 Siliciumdioxyd, Kieselerde, TiO_2 Titandioxyd, SnO_2 Zinndioxyd.

Pentoxyde: P_2O_5 , As_2O_5 .

Trioxyde: SO_3 , CrO_3 , MoO_3 , WO_3 .

Man kann sich viele dieser Oxyde von den Chloriden abgeleitet denken, indem man immer statt zweier Atome Chlor ein Atom Sauerstoff in die Formel setzt. CaCl_2 gibt CaO , aus CuCl_2 leitet sich CuO ab und CCl_4 gibt CO_2 . Bei den Atomen, deren Valenz unpaar ist, geht man von einer paaren Zahl von Molekeln aus. So gelangt man von 2HCl zu H_2O , von 2AlCl_3 zu Al_2O_3 , von 2PCl_5 zu P_2O_5 .

B. Hydroxyde.

a) primäre:

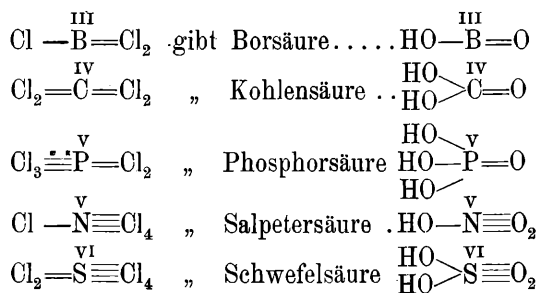
Typus Kalihydrat:	KHO, NaHO.
„ Brucit:	MgH ₂ O ₂ , CaH ₂ O ₂ , ZnH ₂ O ₂ .
„ Gibbsit:	AlH ₃ O ₃ , FeH ₃ O ₃ .
„ Kieselhydrat:	SiH ₄ O ₄ , SnH ₄ O ₄ .

b) sekundäre:

Typus Borsäure:	BHO ₂ , AlHO ₂ , FeHO ₂ , MnHO ₂ .
„ Kohlensäure:	CH ₂ O ₃ , SiH ₂ O ₃ , TiH ₂ O ₃ .
„ Salpetersäure:	NHO ₃ .
„ Phosphorsäure:	PH ₃ O ₄ , AsH ₃ O ₄ .
„ Schwefelsäure:	SH ₂ O ₄ , WH ₂ O ₄ .

Die primären Hydroxyde können von den Chlorverbindungen abgeleitet werden nach der Regel, daß anstatt jedes Atoms Chlor je eine Gruppe Hydroxyl OH eintritt, welche einwertig ist —O—H. Demnach entspricht dem Chlorkalium K—Cl das Kalihydrat K—O—H, dem Chlormagnesium Mg=Cl₂ der Brucit Mg <math display="block">\begin{matrix} \text{O—H} \\ \diagdown \\ \text{Mg} \\ \diagup \\ \text{O—H} \end{matrix} u. s. w.

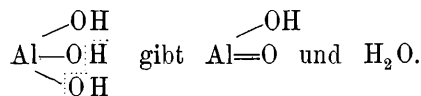
Die sekundären Hydroxyde lassen sich ebenfalls von den Chloriden ableiten, indem das Chlor teilweise durch Hydroxyl, teilweise durch Sauerstoff ersetzt gedacht wird.



Hier werden außer den früher angeführten auch die zwei Chloride NCl₅ und SCl₆, welche bisher noch nicht dargestellt worden sind, als Schemata benutzt. (Dem Sauerstoff gegenüber verhält sich der Schwefel sechswertig, sonst aber zweiwertig.)

Die sekundären Hydroxyde können auch aus den primären durch Verlust von Wasser entstanden gedacht werden.

Aus Gibbsit AlH₃O₃ würde durch Verlust von einer Molekel Wasser Diaspor AlHO₂ gebildet nach dem Schema:



Aus dem Siliciumhydroxyd SiH_4O_4 würde durch Verlust von H_2O die Kieselsäure H_2SiO_3 gebildet:

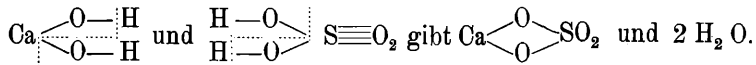


166. Alle sekundären Hydroxyde von der Kohlensäure bis zum Ende der Reihe werden Säuren und speziell Sauerstoffsäuren genannt. Jene, welche im Wasser löslich sind, zeigen saure Reaktion [153]. Bezüglich der Kohlensäure CH_2O_3 ist zu bemerken, daß diese Verbindung zwar nicht sicher beobachtet wurde, daß jedoch dieses Schema zur Ableitung der später zu besprechenden Carbonate dient.

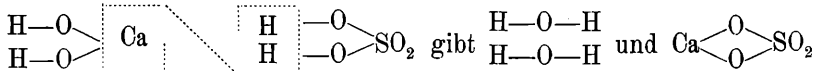
Dasjenige, was in der Säuremolekel außer dem Hydroxyl vorhanden ist, wird die Säuregruppe oder das Radikal der Säure genannt. So z. B. sind CO , PO , NO_2 , SO_2 die Radikale der Kohlen-, Phosphor-, Salpeter- und Schwefelsäure.

Die primären Hydroxyde der ersten drei Typen werden Basen, speziell Oxybasen genannt. Die im Wasser löslichen zeigen alkalische Reaktion.

Die Säuren und Basen üben aufeinander eine energische Wirkung aus. Erstens geschieht eine rasche Verbindung beider, welche von einer Wärmeentwicklung begleitet ist, zweitens erfolgt eine Abscheidung von Wasser, wodurch ein Salz gebildet wird, so z. B. beim Zusammentreffen von Kalkhydrat CaH_2O_2 mit Schwefelsäure H_2SO_4 , welche schwefelsauren Kalk CaSO_4 bilden.

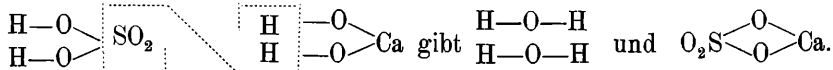


Solche Reaktionen werden abkürzungsweise als Austausch bezeichnet, weil in dem Schema



der Vorgang so erscheint, als ob Ca an die Stelle von H_2 übergetreten wäre, als ob in der Säure H_2 gegen Ca ausgetauscht worden wäre [162]. Man sagt daher häufig, in den Säuren werde der Wasserstoff durch Metalle ersetzt.

Derselbe Vorgang läßt sich aber auch anders betrachten, nämlich:



Hier tritt die Säuregruppe SO_2 an die Stelle von H_2 hinüber und hier werden in der Base zwei Wasserstoffatome durch SO_2 ersetzt. Man sagt daher auch, daß bei der Salzbildung der Wasserstoff der Base durch eine Säuregruppe ersetzt werde. Beide abgekürzten Ausdrucksweisen sind aber gleichberechtigt.

167. Nach der Zahl der Hydroxylgruppen werden die Säuren eingeteilt in einbasische, wie die Salpetersäure HONO_2 , in zweibasische, wie die Kieselsäure $\text{H}_2\text{O}_2\text{SiO}$, Schwefelsäure $\text{H}_2\text{O}_2\text{SO}_2$, in dreibasische, wie die Phosphorsäure $\text{H}_3\text{O}_3\text{PO}$. Ebenso werden die Basen eingeteilt in einsäurige, wie Kalihydrat KOH , in zweisäurige, wie Zinkhydrat ZnO_2H_2 etc.

Aus allen Hydroxyden entstehen durch Abscheidung sämtlichen Wasserstoffes in der Form von Wasser Anhydride, z. B.:



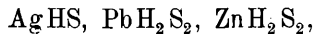
Deshalb werden die früher genannten Oxyde auch öfter Anhydride genannt, also SO_3 Schwefelsäure-Anhydrid, CO_2 Kohlensäure-Anhydrid, SiO_2 Kieselsäure-Anhydrid (Kieselerde).

Die sekundären Hydroxyde sind demnach partielle Anhydride.

168. Schwefelverbindungen. Dieselben sind sehr häufig den Sauerstoffverbindungen entsprechend zusammengesetzt, namentlich ist dies der Fall bei den einfachen Schwefelverbindungen, welche Sulfide genannt werden. Dieselben sind analog dem Wassertypus z. B. H_2S Schwefelwasserstoff, Ag_2S Silbersulfid, Cu_2S Cuprosulfid.

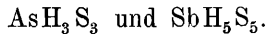
den Monoxyden „ „ PbS , ZnS , CuS Cuprisulfid.
 „ Sesquioxyden „ „ Fe_2S_3 , Ni_2S_3 , As_2S_3 , Sb_2S_3 , Bi_2S_3 .
 „ Dioxyden „ „ FeS_2 , MnS_2 .

Wasserstoffhaltige Sulfide, welche den Hydroxyden entsprechen, sind nicht bekannt, doch werden oft die Schemata derselben angewendet, um die in den Mineralen vorkommenden Verbindungen zu klassifizieren. Denkt man sich in den Chloriden, wie AgCl , PbCl_2 , ZnCl_2 , jedes Chloratom durch Hydrosulfyl HS , welches einwertig ist, ersetzt, so erhält man:

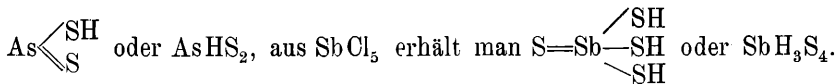


welche Sulfobasen (Thiobasen) wären.

Entsprechend erhalte man aus AsCl_3 , SbCl_5 die Hydrosulfide:



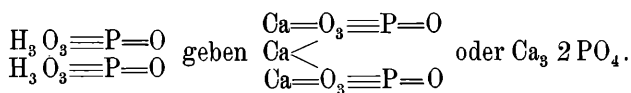
Außerdem können sekundäre Hydrosulfide (Sulfosäuren, Thiosäuren) abgeleitet werden, indem das Chlor der letztgenannten Chloride teils durch Schwefel, teils durch Hydrosulfyl ersetzt gedacht wird. Aus AsCl_3 erhält man



169. Salze. Aus den sekundären Hydroxyden leiten sich durch Austausch Verbindungen ab, welche Salze genannt werden. In diesen erscheint der Wasserstoff der Säure durch eine äquivalente Menge von Metall ersetzt. Die Salze folgen demnach dem Typus jener Säuren, aus welchen sie abgeleitet sind.

Schreibt man also statt des Wasserstoffes der Oxy- und der Sulfosäuren die äquivalenten Metallatome, also statt H die Atome K , Na , Ag , statt H_2 die Atome K_2 , Na_2 oder Ca , Mg , Zn , Pb u. s. w., so erhält man die Formeln der neutralen Salze. So lassen sich von der Salpetersäure HNO_3 die Salze NaNO_3 , AgNO_3 , von der Schwefelsäure H_2SO_4 die Salze K_2SO_4 , CaSO_4 ableiten. Ist die Säure geradbasisch, die Base ungeradsäurig oder umgekehrt, so müssen von der einen oder

der anderen auch mehrere Molekeln für die Ableitung des neutralen Salzes in Anspruch genommen werden. Um z. B. aus der Phosphorsäure $\text{H}_3\text{O}_3\text{PO}$ ein neutrales Kalksalz zu erhalten, sind zwei Molekeln Säure erforderlich:



Beispiele der wichtigsten Salze sind:

a) Oxysalze.

Aluminate, von dem Typus Diaspor $\text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ abgeleitet, z. B. MgAl_2O_4 Spinell.

Diesem analog sind die übrigen Mitglieder der Spinellgruppe, z. B. FeCr_2O_4 Chromeisenerz.

Carbonate, nach dem Schema H_2CO_3 gebildet, z. B. CaCO_3 Calciumcarbonat, Na_2CO_3 Natriumcarbonat.

Silicate. Diese Salze bilden gegenüber den anderen insofern eine Ausnahme, als auch solche Silicate vorkommen, die von dem primären Hydroxyd H_4SiO_4 abgeleitet werden. Dieses Hydroxyd wird daher auch als eine Säure betrachtet und als vierbasische Orthokieselsäure $(\text{HO})_4\text{Si}$ bezeichnet. Die von dieser abgeleiteten Verbindungen werden Orthosilicate genannt, z. B. MgCaSiO_4 Monticellit, Zn_2SiO_4 Willemitt. Die nächstfolgende Kieselsäure ist die der Kohlensäure analog zusammengesetzte Metokieselsäure $(\text{HO})_2\text{SiO}$ oder H_2SiO_3 . Die davon abgeleiteten Salze werden als Metasilicate bezeichnet. Da die beiden Säuren früher im isolierten Zustande nicht näher bekannt waren, so gründete sich die Ableitung der Silicate auf bloße Vermutungen. In letzter Zeit wurden von Tschermak mehrere Kieselsäuren aus ihren Verbindungen abgeschieden. Die Orthokieselsäure und die Metokieselsäure sind unbeständige Verbindungen und verändern sich durch Abscheidung von Wasser. Nur solche Verbindungen dürfen als Orthosilicate oder Metasilicate betrachtet werden, aus denen diese Säuren abgeschieden werden können.

Außerdem gibt es noch höher zusammengesetzte Kieselsäuren, die aus den vorigen durch Abspaltung von Wasser abgeleitet werden. Aus beiden Säuren leitet sich nach dem Schema $(\text{HO})_4\text{Si} + (\text{HO})_2\text{SiO} = (\text{HO})_3\text{SiO}_2\text{SiO}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O}$ die asymmetrische vierbasische Säure zweiter Ordnung $\text{H}_3\text{HSi}_2\text{O}_6$ ab, welcher der Leucit AlKS_2O_6 entspricht. Von der Orthokieselsäure leitet sich nach dem Schema $2(\text{HO})_2\text{Si}(\text{OH})_2 = (\text{HO})_2\text{SiO}_2\text{Si}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ die symmetrische vierbasische Säure zweiter Ordnung $\text{H}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ab, welcher der Diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ entspricht. In analoger Weise leiten sich Säuren dritter Ordnung $\text{H}_6\text{Si}_3\text{O}_6$, $\text{H}_4\text{Si}_3\text{O}_8$, $\text{H}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ ab, welche aus den Silicaten Wollastonit, Granat, Albit abgeschieden wurden.

Die komplizierter zusammengesetzten Silicate, die meistens zugleich Aluminate sind, werden in dem speziellen Teile angeführt.

Nitrate, von der Salpetersäure HNO_3 abgeleitet, z. B. NaNO_3 Natriumsalpeter, Ca_2NO_3 Calciumnitrat.

Phosphate, von der Phosphorsäure H_3PO_4 abgeleitet, z. B. K_3PO_4 Kaliumphosphat, $Ca_3P_2O_7$ Calciumphosphat. Analog sind die Arsenate, z. B. $Pb_3As_2O_7$ Bleiarsenat, ferner die Antimonate, Vanadate.

Sulfate, von der Schwefelsäure H_2SO_4 abgeleitet, z. B. K_2SO_4 Arcanit, $CaSO_4$ Anhydrit. Demselben Schema folgen die Chromate, z. B. $PbCrO_4$ Rotbleierz, ferner die Wolframate, Molybdate, Tellurate, Selenate.

b) Sulfosalze:

Dieselben lassen sich von den Sulfosäuren ableiten, wie die folgenden Beispiele zeigen.

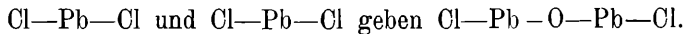
Erster Typus: Von dem Schema H_3AsS_3 leiten sich ab: Ag_3AsS_3 lichtiges Rotgiltigerz, Ag_3SbS_3 dunkles Rotgiltigerz, $Pb_3Sb_2S_6$ Boulangerit.

Zweiter Typus: Von der Sulfosäure $HSbS_2$ leiten sich ab: $AgSbS_2$ Miargyrit, $PbSb_2S_4$ Zinckenit.

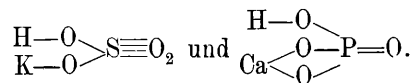
Dritter Typus: Von der Sulfosäure H_3AsS_4 leitet sich ab Cu_3AsS_4 Enargit.

c) Haloidsalze. So werden die Chloride, Bromide, Jodide, Fluoride zuweilen genannt, weil sie gleich den Oxysalzen durch Austausch aus der Salzsäure HCl , Flußsäure HF etc. entstehen können, z. B. $NaHO + HCl = NaCl + H_2O$ oder $CaCO_3 + 2HF = CaF_2 + H_2O + CO_2$.

Es gibt auch intermediäre Verbindungen, welche zum Teil Chloride oder Fluoride, zum Teil aber Oxyde oder Hydroxyde sind, z. B. $HO-Cu-Cl$ basisches Kupferchlorid, vom Chlorid $CuCl_2$ durch teilweisen Ersatz des Chlors durch Hydroxyl abzuleiten, oder Bleioxychlorid Pb_2Cl_2O durch teilweisen Ersatz des Chlors durch Sauerstoff aus zwei Molekeln Bleichlorid $PbCl_2$ ableitbar:



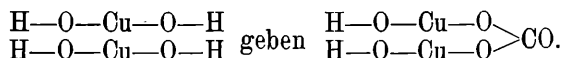
170. In den bisher betrachteten Salzen, welche neutrale Salze sind, erscheint der Wasserstoff der ursprünglichen Säure gänzlich durch Metall ersetzt. Es gibt aber auch solche Salze, in welchen der Wasserstoff der Säure nur zum Teile durch Metall ersetzt ist, welche also noch durch Metall vertretbaren Wasserstoff enthalten. Sie werden saure Salze genannt, z. B. $KHSO_4$ saures Kaliumsulfat, $CaHPO_4$ saures Calciumphosphat.



In den Lösungen, welche in der Natur vorkommen, spielen die sauren Carbonate (Bicarbonat) eine wichtige Rolle, z. B. das Natriumbicarbonat $NaHCO_3$, das Calciumbicarbonat $CaH_2C_2O_6$. Unter den Silicaten kommen nicht wenige saure Salze vor. Ein Beispiel ist der Natrolith $Na_2Al_2H_4Si_3O_{12}$ (s. Hydrosilicate im speziellen Teile).

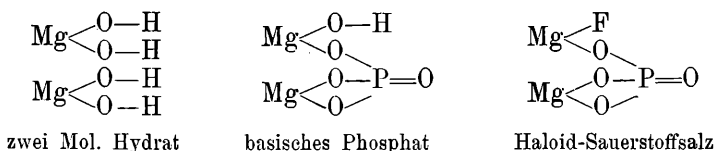
Durch Abspalten von Wasser leiten sich von derlei Verbindungen saure Anhydridsalze ab, z. B. $K_2SO_4SO_3$ pyroschwefelsaures Kali von zwei Molekeln $KHSO_4$. Unter den in der Natur vorkommenden Silicaten sind mehrere als saure Anhydridsalze zu bezeichnen, wie der Orthoklas $KAlSi_3O_8$, Albit $NaAlSi_3O_8$, Petalit $LiAlSi_4O_{10}$.

Als basische Salze werden solche bezeichnet, in welchen der Wasserstoff der ursprünglichen Basis nicht vollständig durch Säuregruppen ersetzt ist, so daß diese Salze noch Wasserstoff enthalten, welcher durch Säuregruppen vertreten werden kann. Hieher gehört der Malachit $\text{Cu}_2\text{H}_2\text{CO}_5$, welcher vom Kupferhydroxyd CuH_2O_2 und von der Kohlensäure $\text{H}_2\text{O}_2\text{CO}$ abzuleiten ist. Man geht von zwei Molekeln Kupferhydroxyd aus, in welchen zwei Atome Wasserstoff durch die zweiwertige Säuregruppe CO vertreten werden.



Die basischen Salze werden oft so geschrieben, daß das Metallatom und das damit verbundene Hydroxyl als eine Gruppe zusammengefaßt werden, z. B. $(\text{HOCu})_2\text{CO}_3$ Malachit, $(\text{HOCu})_3\text{AsO}_4$ Abichit. Dadurch tritt die Analogie mit den neutralen Salzen, wie Na_2CO_3 und Na_3AsO_4 , deutlich hervor. Noch häufiger als die eigentlich basischen Salze sind in der Natur solche, die zum Teil basisch, zum Teil neutral erscheinen, wie der Azurit $(\text{HOCu})_2\text{Cu}2\text{CO}_3$, Euklas $(\text{HOAl})\text{BeSiO}_4$, Olivenit $(\text{HOCu})\text{CuAsO}_4$, Alunit $(\text{H}_2\text{O}_2\text{Al})_3\text{K}2\text{SO}_4$. Außerdem sind solche Verbindungen bekannt, die zum Teil basisch, zum Teil sauer zu nennen sind, wie der Serpentin $(\text{HOMg})_3\text{HSi}_2\text{O}_6$.

Es gibt auch Salze, welche zwischen den Sauerstoffsalzen und Haloidsalzen intermediär sind. Sie lassen sich von den basischen Salzen ableiten, indem das Hydroxyl des basischen Salzes durch Chlor oder Fluor ersetzt gedacht wird. So läßt sich von der basisch phosphorsauren Magnesia HMg_2PO_5 der Wagnerit FMg_2PO_4 ableiten:



171. Chemische Konstitution. Die Art, in welcher die Atome innerhalb der Molekel durch Valenzen verbunden gedacht werden können, pflegt man als chemische Struktur oder chemische Konstitution zu bezeichnen.

Gewöhnlich begnügt man sich mit der Ableitung der Verbindungen in der vorher angeführten schematischen Weise, doch hat die Erforschung der Kohlenstoffverbindungen dazu geführt, die Anordnung der Atome im Raume vorstellig zu machen, und andererseits hat der Wunsch, den Aufbau der Krystalle aus Molekeln darzustellen, zu Versuchen geleitet, welche die räumliche Lagerung der Atome in der Molekel zu erraten bestrebt sind.

Von solchen weitgehenden Spekulationen wird man dort, wo es sich um die Wiedergabe des Tatsächlichen handelt, absehen, da sogar die Anwendung des Begriffes Molekulargewicht auf die festen Körper im allgemeinen und die Krystalle im besonderen problematisch ist. Das Volumgesetz der Gase führt zu der Bestimmung der Molekulargröße im Dampfzustande, doch haben die Versuche, das

Molekulargewicht im starren Zustande zu ermitteln, bisher noch zu keinem für die Minerale verwertbaren Ergebnisse geleitet. Schon bei der Bestimmung der Dampfdichten zeigt sich in manchen Fällen, daß derselben Substanz bei hoher Temperatur ein kleineres, bei einer niedrigeren Temperatur ein größeres, z. B. das doppelte Molekulargewicht, zukommt. Das Verhalten konzentrierter Lösungen deutet ebenfalls darauf, daß das Molekulargewicht im starren Zustande oft ein Vielfaches von jenem im Gaszustande beträgt. Die chemischen Formeln der Minerale, die bloß das Verbindungsverhältnis angeben, sind demnach immer als kleinste Formeln zu betrachten und wenn ein Grund vorliegt, ein Vielfaches einer solchen Formel anzunehmen, so wird die höhere Formel vorzuziehen sein. Stets aber bleibt die Annahme eines bestimmten Molekulargewichtes unsicher.

Trotzdem bleibt das Bedürfnis bestehen, die Eigenschaft eines Mineralen, in einer bestimmten Weise sich zu bilden oder zu zerfallen, ferner die chemische Verschiedenheit zweier Minerale, die dasselbe Verbindungsverhältnis derselben einfachen Stoffe aufweisen, endlich die Ähnlichkeit zweier Verbindungen, die gleiche oder ähnliche Krystallform besitzen, in der chemischen Formel zum Ausdruck zu bringen. Demnach wird innerhalb gewisser Grenzen auch auf die Struktur der in den Mineralen vorliegenden Verbindungen Rücksicht genommen.

Die chemische Formel, welche bloß das Verbindungsverhältnis angibt und die kleinste Formel ist, wird als empirische Formel bezeichnet, während jene, die eine Struktur der Verbindung andeutet und bisweilen ein Vielfaches der kleinsten Formel darstellt, als rationelle Formel angeführt wird.

Aus den chemischen Reaktionen ergeben sich oft Anhaltspunkte für die Beurteilung des Gefüges einer Verbindung, wie beim Magnetit, dessen empirische Formel Fe_3O_4 ist. Da bei der Behandlung mit im Wasser gelöster Kohlensäure ein Teil des Eisens ausgezogen und als Carbonat FeCO_3 in Lösung gebracht wird, so muß das Eisen zum Teil in der bivalenten Form in der Verbindung enthalten sein, daher die rationelle Formel $\text{O} = \text{Fe} - \text{O} - \text{Fe} - \text{O} - \text{Fe} = \text{O}$ ist, welche auch FeOFe_2O_3 geschrieben wird.

Durch die Zerlegung der Silicate wird nicht selten ein Einblick in deren Struktur gewonnen. Aus dem Monticellit, der hauptsächlich aus dem Silicat MgCaSiO_4 besteht, ebenso aus dem Dioptas CuH_2SiO_4 wird Orthokieselsäure H_4SiO_4 abgeschieden. Demnach ist der Dioptas als ein saures Orthosilicat zu betrachten.

Der Serpentin, dessen empirische Formel $\text{Mg}_3\text{H}_4\text{Si}_2\text{O}_9$, verwandelt sich bei der Zersetzung in eine Säure von der empirischen Formel $\text{H}_4\text{Si}_2\text{O}_6$. Daraus ist zu schließen, daß die Gruppe $\text{Mg}_3\text{H}_2\text{O}_3$ vierwertig fungiert, wonach dem Serpentin die Gliederung $(\text{HOMg})_3\text{HSi}_2\text{O}_6$ zuzuschreiben ist.

Bisweilen lehrt der Vergleich mehrerer Verbindungen, daß zwei Minerale, welchen dasselbe Verbindungsverhältnis zukommt, durch das Molekulargewicht verschieden sind. Sowohl der Enstatit als der Anthophyllit sind hauptsächlich nach der empirischen Formel MgSiO_3 zusammengesetzt. Der Enstatit ist aber durch die Krystallform und Spaltbarkeit dem Diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ sehr ähnlich. Daraus wird geschlossen, daß beide Minerale, der Enstatit und der Diopsid, von derselben

Kieselsäure abzuleiten sind, wonach dem Enstatit die Formel $Mg_2Si_2O_6$ zukommt. Andererseits ist der Anthophyllit in seinen physikalischen Eigenschaften dem Tremolit $CaMg_3Si_4O_{12}$ sehr ähnlich. Wenn beide von derselben Kieselsäure abgeleitet werden, so erhält der Anthophyllit die Formel $Mg_4Si_4O_{12}$. Dem letzteren ist demnach ein doppelt so großes Molekulargewicht zuzuschreiben wie dem Enstatit.

Verbindungen, die sich bloß durch die Molekulargröße unterscheiden, werden polymere genannt und das Verhältnis, in dem solche Verbindungen zueinander stehen, wird als Polymerie bezeichnet.

Es gibt Fälle, in welchen ein Vergleich, der einen Schluß auf die Molekulargröße gestattet, nicht möglich ist, wie beim Disthen, Andalusit, Sillimanit, welchen allen die empirische Formel Al_2SiO_5 zukommt. Keines dieser drei Minerale zeigt eine Ähnlichkeit mit einem anderen von analoger Zusammensetzung und chemische Reaktionen, die einen Schluß auf die Struktur dieser Verbindungen gestatten würden, sind bisher nicht bekannt. Da alle drei durch Säuren schwer zerlegbar sind, so können dieselben nicht von einer Kieselsäure niederer Ordnung abgeleitet werden und daraus ist zu schließen, daß die Molekulargewichte dieser Verbindungen viel höhere sein müssen, als die vorgenannte kleinste Formel angibt. Alle bisher unternommenen Versuche, die Struktur zu erraten, entbehren demnach der tatsächlichen Grundlage.

172. Krystallwasser. Viele Verbindungen vermögen beim Krystallisieren aus wässriger Lösung eine oder mehrere Molekeln Wasser anzunehmen. So entstehen in einer gesättigten Lösung von Chlornatrium bei Temperaturen unter $0^\circ C$ monokline Krystalle von der Zusammensetzung $NaCl + 2H_2O$ (Hydrohalit), während bei gewöhnlicher Temperatur das wasserfreie Salz $NaCl$ herauskrystallisiert. Das Magnesiumsulfat findet sich rhombisch als Bittersalz $MgSO_4 + 7H_2O$, doch kann man durch Verdampfen bei Temperaturen über $48.3^\circ C$ aus der Lösung ein monoklines wasserärmeres Salz $MgSO_4 + 6H_2O$ erhalten. Das Calciumsulfat findet sich wasserfrei als Anhydrit $CaSO_4$ (rhombisch), und wasserhaltig als Gyps $CaSO_4 + 2H_2O$ (monoklin).

Das Bittersalz verliert, der trockenen Luft ausgesetzt, einen großen Teil des Wassergehaltes und verstäubt [86], durch Befeuchten erhält man jedoch wieder Bittersalz. Der Gyps verliert durch Erwärmen auf 125° die Hälfte des Wassers, durch Erhitzen auf 190° alles Wasser, durch Befeuchten entsteht nach einigen Tagen wiederum Gyps. Nur wenn der Gyps noch stärker erhitzt wurde, ist er totgebrannt, d. h. nun enthält er kein Wasser mehr und nun liefert das Befeuchten keinen Gyps mehr, das Produkt verhält sich wie Anhydrit.

Jener Wassergehalt krystallinischer Verbindungen, welcher zwar in bestimmter chemischer Proportion vorhanden ist, aber nicht wesentlich zur Verbindung gehört, wird Krystallwasser genannt. Man denkt sich das Krystallwasser bloß durch eine schwache Anziehung angefügt, welche von dem Sauerstoff der Gruppe H_2O ausgeht, indem der Sauerstoff nach dieser Vorstellung wohl gewöhnlich bivalent erscheint, unter Umständen aber noch zwei überzählige Valenzen entwickelt. In den hierhergehörigen Krystallen ist also die Krystallmolekel einerseits aus der

Hauptmolekel, andererseits aus den angelagerten Wassermolekeln zusammengesetzt zu denken. Diese Auffassung deutet wiederum an, daß die Krystallmolekel mehreren chemischen Molekeln gleichgesetzt werden kann.

Beginnt ein krystallwasserhaltiger Krystall, sei es in trockener Luft oder durch Erhitzen, sein Krystallwasser zu verlieren, so wird er inhomogen und besteht nun aus einem Gemenge der krystallwasserhaltigen und einer wasserärmeren oder der wasserfreien Verbindung. Wird die Erhitzung im geschlossenen Gefäß vorgenommen, so geht die Zersetzung nur so weit, bis die Menge des Wasserdampfes so groß geworden ist, daß sie einen bestimmten Druck ausübt, der in der Druckhöhe einer Quecksilbersäule ausgedrückt werden kann; dies ist die Maximaltension, mit der das Hydrat in chemischem Gleichgewicht steht.

Beim Erhitzen entweicht nur selten das ganze Krystallwasser bei derselben Temperatur wie z. B. beim Erwärmen des Glaubersalzes $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$. Meistens wird eine stufenweise Entwicklung beobachtet wie beim Erhitzen des Eisenvitriols $\text{FeSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$, welches beim Erhitzen zunächst drei Molekeln Wasser abgibt, beim ferneren Ansteigen der Temperatur kein Wasser liefert, bis hierauf bei höherer Temperatur wiederum drei Molekeln entweichen, worauf bei noch weiterem Steigen der Temperatur wieder eine Pause eintritt und erst beim stärksten Erhitzen die letzte Wassermolekel fortgeht, so daß daran gedacht wurde, eine Gliederung $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$ als wahrscheinlich anzunehmen. Dies wäre insofern unrichtig, als nach Abgabe von Wasser nicht mehr die ursprüngliche Verbindung, sondern ein neuer Körper vorliegt, der wieder ein bestimmtes Verhalten zeigt. Die stufenweise Wasserentwicklung beobachtet man auch beim Zinkvitriol $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ mit den Stufen $1 + 1 + 5$, am Bittersalz $\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ mit den Stufen $1 + 5 + 1$, am Kupfervitriol $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ mit den Stufen $1 + 2 + 2$. Beim Kupfervitriol wurde ermittelt, daß so lange in dem inhomogenen Gemenge noch $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ neben $\text{CuSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ vorhanden ist, sich die Maximaltension bei 50°C auf 47 mm Quecksilberdruck erhält. Sie sinkt auf 30 mm , wenn alles $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ verschwunden ist, und hält sich so bei fernerer Entwässerung, so lange der Rest aus einem Gemenge von $\text{CuSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ und $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ besteht, bis der letzte Rest des dreifachen Hydrates verschwunden ist, worauf sie bis 4.4 mm herabsinkt. Auf dieser Höhe bleibt sie während sich ein Gemenge von $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ und wasserfreiem CuSO_4 bildet, um auf 0 zu sinken, wenn schließlich alles Hydrat verschwunden ist.

Ein wesentlich anderes Verhalten zeigen manche wasserhaltige Minerale, namentlich viele sogenannte Zeolithe nach den Untersuchungen von Mallard, Rinne und Friedel. Beim Analcim, Stilbit, Desmin und anderen Zeolithen beobachtet man eine allmähliche Entwässerung, wobei aber kein Zerfall des Krystalls zu beobachten ist. Vielmehr behält der Krystall bei entsprechender Vorsicht seine Krystallstruktur; man beobachtet mit dem stetigen Fortschreiten der Entwässerung regelmäßige Änderungen des Axenwinkels, der Brechungs-exponenten, der Doppelbrechung. In jedem Augenblick erscheint der Krystall homogen. Nach dem Erhitzen vermag er in einer wasserdampfreichen Atmosphäre das verlorene Wasser wieder aufzunehmen, wobei die optischen Erscheinungen in

rückläufiger Folge wieder zum alten Stand zurückkehren. Dies wird jedoch verhindert, wenn durch Eintauchen in Öl die Wasseraufnahme verhindert wird. Statt der stufenweise abnehmenden Wasserdampftension beobachtet man eine stetige Änderung; für jede Temperatur ändert sich der Wassergehalt so lange, bis eine bestimmte Tension erreicht ist, mit welcher das Entwässerungsprodukt sich in chemischem Gleichgewicht befindet. Je nach der Temperatur und dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ändert sich der Wassergehalt des Minerals stetig, so daß die jeweilige Zusammensetzung keiner bestimmten Proportion entspricht. Nur das Maximum des Wassergehaltes ist durch eine chemische Formel ausdrückbar. Mallard vergleicht daher das Gefüge dieser Krystalle mit einem Schwamm, der sich mehr oder weniger mit Wasser vollsaugen kann.

Zum Unterschiede vom Krystallwasser, welches gleichsam schon fertig im Krystalle enthalten ist, wird jenes Wasser, welches erst beim Erhitzen der Hydroxyde, sowie der sauren und basischen Salze durch Zerstören der chemischen Verbindung gebildet wird, als chemisch gebundenes Wasser oder Konstitutionswasser, auch Hydratwasser, bezeichnet. Die Wassermenge also, welche durch Erhitzen von Brucit, Gibbsite, Diaspor oder durch Erhitzen von Malachit erhalten wird, ist kein Krystall-, sondern Konstitutionswasser. In manchen Mineralen wird beides zugleich angenommen, z. B. im Brushit $\text{Ca HPO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

Obwohl der Unterschied in theoretischer Beziehung vollkommen klar ist, so erscheint es doch in vielen Fällen schwierig, durch den Versuch nachzuweisen, ob das beim Erhitzen erhaltene Wasser als Krystallwasser enthalten war oder aus dem Wasserstoff und Sauerstoff der Verbindung entstanden ist, eine Schwierigkeit, auf welche namentlich v. Kobell aufmerksam gemacht hat. Das eine bleibt jedoch unzweifelhaft, daß der Wasserstoff, welcher erst bei der Glühhitze in der Form von Wasser fortgeht, chemisch gebunden war; dagegen ist es nicht sicher, daß das Krystallwasser bei 100° oder 120°C vollständig fortgehe. Das Krystallwasser kann verschieden stark gebunden sein. Dies zeigen schon die Beispiele Hydrohalit, Bittersalz, Gyps.

Müller-Erzbach, Beiblätter Ann. Phys., Bd. 14, S. 448. Salzer, Ann. d. Chem., Bd. 233, S. 1. Van t'Hoff, Vorlesungen über theoret.-physik. Chemie 1901, 1. Heft, S. 51 ff.

Damour, Annales de Chimie et Phys., 3^e série, Bd. 53. Mallard, Bull. soc. min., Bd. 5, S. 255. G. Friedel, Bull. soc. franç. 19. 1896, 21. 1898. 22. 1899. Rinne, Sitzungsber. Ak. Berlin, Bd. 46, S. 1163.

173. Molekelverbindungen. Sowie man sich die Krystallmolekeln jener Minerale, welche Krystallwasser enthalten, aus einer bestimmten Verbindung und aus angelagerten Wassermolekeln zusammengesetzt denkt, ebenso kann man sich die Krystallmolekeln mancher Minerale aus mehreren Molekeln gebildet denken, welche verschiedenartig sind und nur durch schwache Anziehungen miteinander verbunden werden. Derlei Molekelverbindungen bestehen demnach aus Teilen, die anscheinend keine freien Valenzen darbieten. Beispiele sind das Natrium-Silber-Chlorid $\text{NaCl} + \text{AgCl}$, das Kalium-Zink-Chlorid $\text{KCl} + \text{ZnCl}_2$, der Carnallit $\text{KCl} + \text{MgCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$. Hier wird auch eine Verkettung durch überzählige Valenzen, die sonst nicht tätig sind, angenommen.

Im Alaun $\text{Al}_2 \text{S}_3 \text{O}_{12} + \text{K}_2 \text{SO}_4 + 24 \text{H}_2 \text{O}$ ließe sich eine Verkettung der beiden Sulfate denken und die Formel einfacher schreiben: $\text{KAlS}_2 \text{O}_8 + 12 \text{H}_2 \text{O}$.

Thomsen hat jedoch gezeigt, daß beim Zusammentreffen zweier Lösungen, wovon die eine $\text{Al}_2 \text{S}_3 \text{O}_{12}$, die andere $\text{K}_2 \text{SO}_4$ enthält, keine merkliche Wärmeentwicklung stattfindet, während dies unter den gleichen Umständen bei jeder chemischen Verbindung der Fall ist. In der konzentrierten Lösung besteht sonach jedes der beiden Sulfate für sich und sie vereinigen sich erst beim Krystallisieren, in welchem Augenblicke auch noch Wassermolekeln hinzugenommen werden. Das Entsprechende gilt für den Carnallit.

Der Alaun, der Carnallit können demnach als Doppelsalze angesehen werden, aber auch andere Minerale werden als Doppelsalze oder allgemein als Molekelverbindungen betrachtet, weil es wahrscheinlich ist, daß die einzelnen Verbindungen, welche darin enthalten sind, erst im Augenblicke der Krystallisation oder bei der Bildung eines unlöslichen Niederschlages zusammentreten. Solange aber Gründe für die eine Ansicht noch fehlen, lassen sich derlei Minerale mit gleichem Rechte als chemische Verbindungen oder als Molekelverbindungen betrachten, z. B.:

	einheitlich	als Molekelverbindung
Matlockit	$\text{Pb}_2 \text{Cl}_2 \text{O}$	$= \text{PbCl}_2 + \text{PbO}$
Dolomit	$\text{Ca Mg } 2 \text{CO}_3$	$= \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$
Tremolit	$\text{Ca Mg}_3 4 \text{SiO}_3$	$= \text{CaMgSi}_2 \text{O}_6 + \text{Mg}_2 \text{Si}_2 \text{O}_6$
Glauberit	$\text{Na}_2 \text{Ca } 2 \text{SO}_4$	$= \text{Na}_2 \text{SO}_4 + \text{CaSO}_4$
Apatit	$\text{ClCa}_5 \text{P}_3 \text{O}_{12}$	$= \text{Ca}_3 \text{P}_2 \text{O}_8 + \text{ClCa}_2 \text{PO}_4$
Jordanit	$\text{Pb}_4 \text{As}_2 \text{S}_7$	$= \text{Pb}_3 \text{As}_2 \text{S}_6 + \text{PbS}$

Über Molekelverbindungen: Werner, Zeitschr. f. phys. Chemie, Bd. 12, S. 35 (1893).

174. Berechnung der Formel. Wenn sich aus der Analyse eines Minerals ergibt, daß dasselbe aus e Prozenten des einen, aus f Prozenten des zweiten, aus g Prozenten des dritten Bestandteiles u. s. w. zusammengesetzt ist, so ist das Verhältnis dieser Zahlen gleich dem Zusammensetzungsverhältnisse, also nach [157]

$$e : f : g : \dots = m A : n B : p C : \dots$$

Da nun unter *A, B, C* die Mischungsgewichte verstanden werden und für dieselben jetzt allgemein die Atomgewichte im Gebrauch sind, so beziehen sich diese Zeichen auf die S. 303 mitgeteilten Atomgewichte. Die Formel besteht aber außer den Atomzeichen noch aus den Koeffizienten m, n, p etc., welche ganze Zahlen sind. Da nun

$$\frac{e}{A} : \frac{f}{B} : \frac{g}{C} : \dots = m : n : p \dots$$

so ist leicht zu erkennen, daß man das Verhältnis dieser Koeffizienten erhält, wofern man die prozentischen Mengen der Bestandteile durch die Atomgewichte dividiert und die berechneten Quotienten miteinander vergleicht. Man mißt also jeden Bestandteil der Verbindung mit seinem eigenen Maßstabe, und dieser ist das Atomgewicht.

Das Verfahren wird durch folgende Beispiele klar:

Eine Analyse von Steinsalz hätte, wie früher angeführt wurde, 39·38 Prozent Natrium und 60·49 Prozent Chlor ergeben. Die Atomgewichte dieser beiden Stoffe sind $\text{Na} = 23\cdot00$ und $\text{Cl} = 35\cdot46$, wonach

$$\text{für Natrium } 39\cdot38 : 23\cdot00 = 1\cdot712$$

$$\text{„ Chlor } 60\cdot49 : 35\cdot46 = 1\cdot706$$

Die beiden letzteren Zahlen 1·712 und 1·706 verhalten sich aber fast genau wie 1 : 1. Die Koeffizienten sind also gleich anzunehmen, die Formel des Steinsalzes NaCl .

Der Kupferkies von Sayn lieferte H. Rose die folgenden prozentischen Gewichtsmengen, neben welche sogleich die Atomgewichte und Quotienten gesetzt sind:

$$\text{Eisen } 30\cdot47 : 55\cdot84 = 0\cdot5457$$

$$\text{Kupfer } 34\cdot40 : 63\cdot57 = 0\cdot5411$$

$$\text{Schwefel } 35\cdot87 : 32\cdot07 = 1\cdot118$$

Die letzteren Zahlen stehen in einem Verhältnis, welches fast genau 1 : 1 : 2 ist und zu der Formel FeCuS_2 führt.

Man erhält in solcher Weise immer die einfachste Formel, während die rationelle Formel ein Vielfaches der vorigen sein kann. So z. B. wird von manchen Mineralogen für den Kupferkies die Formel $\text{Fe}_2\text{Cu}_2\text{S}_4$ als die rationelle angenommen, mit der Gliederung $\text{Cu}_2\text{S Fe}_2\text{S}_3$.

Wenn die Analyse nicht das Gewichtsverhältnis der einfachen Stoffe, sondern die prozentischen Mengen von Verbindungen angibt, so kann die Rechnung in der Weise geführt werden, daß man die prozentischen Zahlen durch die aus den Atomgewichten erhaltenen Verbindungsgewichte dividiert. Als Beispiel diene die gleichfalls von H. Rose angeführte Analyse des Analcims von Fassa, welche, wie alle derlei Analysen, die erhaltenen Mengen von Kieselerde SiO_2 , Tonerde Al_2O_3 , Natron Na_2O , Wasser H_2O angibt. Hier wird die prozentische Menge der Kieselerde durch die Zahl für SiO_2 dividiert, welche 60·3 ist, da $\text{Si} = 28\cdot3$ und $\text{O} = 16$ u. s. w.

$$\text{Kieselerde . . } 55\cdot12 : 60\cdot3 = 0\cdot914$$

$$\text{Tonerde . . . } 22\cdot99 : 102\cdot2 = 0\cdot225$$

$$\text{Natron } 13\cdot53 : 62\cdot0 = 0\cdot218$$

$$\text{Wasser } 8\cdot27 : 18\cdot02 = 0\cdot459$$

Die letzten Zahlen, welche nahezu genau das Verhältnis 4 : 1 : 1 : 2 ergeben, führen zu der Formel $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, welche auch halb so groß, nämlich $\text{H}_2\text{NaAlSi}_2\text{O}_7$, geschrieben werden kann.

175. Polymorphie. Bei der Vergleichung der Minerale nach ihrer chemischen Zusammensetzung wird nicht selten die Erscheinung erkannt, daß zwei oder mehrere Minerale, welche durch die Krystallform und demzufolge durch den inneren Bau, sowie die damit zusammenhängenden physikalischen Eigenschaften verschieden sind, doch dieselbe chemische Beschaffenheit darbieten. Sie geben bei

der Analyse dieselben Resultate, geben dieselben Reaktionen, sind also chemisch gleich, aber physikalisch verschieden. Zuweilen läßt sich die Sache synthetisch verfolgen und dartun, daß in der Tat dieselbe Substanz unter bestimmten Umständen in dieser, unter anderen Umständen in jener Form krystallisiert. Von einer solchen Substanz sagt man, sie sei dimorph oder allgemein polymorph.

Das längst bekannte Beispiel geben der trigonale Kalkspat und der rhombische Aragonit. Klaproth fand, daß dieser ebenso aus kohlensaurem Kalk bestehe wie jener, doch glaubte Haüy, gestützt auf Stromeyers Analysen, daß eine kleine Beimischung von kohlensaurem Strontian dem Aragonit seine abweichende Form verleihe, bis genaue Analysen erkennen ließen, daß auch Aragonite ohne eine Spur von Strontiumgehalt vorkommen und die Gleichheit der Substanz in beiden Mineralen bekräftigt wurde, als Haidinger wahrnahm, daß der Aragonit, dessen spezifisches Gewicht, $s = 2.94$, durch Erhitzen in Kalkspat ($s = 2.72$) verwandelt wurde, und G. Rose beobachtete, daß der kohlen-säure Kalk, welcher in kohlen-säurehaltigem Wasser aufgelöst worden, beim Entweichen der die Auflösung bedingenden Kohlensäure in der Wärme vorzugsweise Aragonit, bei gewöhnlicher Temperatur aber Kalkspat absetze. Früher hatte schon Mitscherlich gezeigt, daß der Schwefel in zwei verschiedenen Formen erhalten werden könne: in rhombischer Form und gelber Farbe ($s = 2.1$) gleich dem natürlich vorkommenden beim Verdunsten der Auflösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff; in monokliner Form und brauner Farbe ($s = 1.97$) beim Erkalten des geschmolzenen Schwefels.

Die Dimorphie des Eisenbisulfides FeS_2 wurde von Berzelius erkannt, welcher zeigte, daß sowohl der tesserale Eisenkies ($s = 5.1$) als auch der rhombische Markasit ($s = 4.86$) dieselbe chemische Formel geben. Die Darstellung beider Formen ist amerikanischen Forschern durch Einwirkung von Schwefel-

Fig. 500.

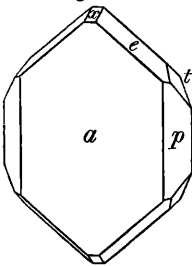


Fig. 501.

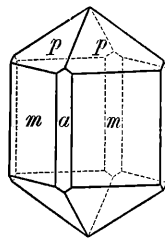
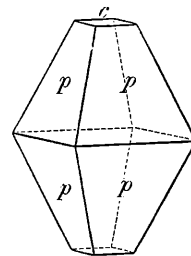


Fig. 502.



wasserstoff auf eisenhaltende Lösungen gelangen, und zwar bilden sich Kryställchen von Markasitform bei Temperaturen unter 450°C bei Gegenwart freier Säuren, Kryställchen von Pyritform bei höheren Temperaturen und in neutralen Lösungen.

Am Titan-Dioxyd TiO_2 wurde eine Trimorphie beobachtet. Diese Substanz hat als Brookit ($s = 4.15$) eine rhombische Krystallform, Fig. 500. Ferner krystallisiert dieselbe als Rutil ($s = 4.25$) tetragonal mit dem Axenverhältnis $a : c = 1 : 0.6442$, Fig. 501, und als Anatas ($s = 3.9$) auch tetragonal, jedoch mit dem Axenverhältnis $a : c = 1 : 1.778$, Fig. 502. G. Rose und Hautefeuille gelang es, die Substanz TiO_2 in allen drei Formen darzustellen.

Das Siliciumdioxid, SiO_2 , tritt als Quarz ($s = 2.65$) in der früher angeführten trigonalen Form und als Tridymit ($s = 2.3$) in mimetisch-hexagonaler Krystallform auf. Eine dritte Modifikation ist der tetragonale Cristobalit.

Das Antimonoxid, Sb_2O_3 , hat als Valentinit ($s = 5.6$) eine rhombische Form, während dasselbe als Senarmontit ($s = 5.3$) in Oktaedern erscheint. Beide Formen entstehen, wie Fischer gezeigt hat, gleichzeitig bei der Verbrennung antimonhaltiger Minerale vor dem Lötrohre, die rhombische Form an den heißen, die oktaedrische Form an den kühleren Stellen.

Das Arsenoxid As_2O_3 , das Zinksulfid ZnS , das Cuprosulfid Cu_2S sind ebenfalls dimorph, außerdem noch mehrere andere Substanzen.

Während man die Ausdrücke dimorph, polymorph in bezug auf die Substanz anwendet, kann man das Verhältnis der Minerale, welche dieselbe Substanz in verschiedenen Formen darstellen, als Heteromorphie bezeichnen und demnach sagen: die Substanz kohlensaurer Kalk ist dimorph, die Minerale Kalkspat und Aragonit sind heteromorph.

Eigentümlich verhält sich der Kalifeldspat (KAlSi_3O_8). Man kennt ihn in monoklinen Krystallen als Orthoklas und in triklinen Zwillingstöcken mit monokliner Mimesie als Mikroklin [46]. Die Winkel beider Modifikationen stehen sich außerordentlich nahe; die optische Orientierung beider ist zwar entsprechend dem verschiedenen Krystallsystem deutlich verschieden, doch ist die Orientierung des Orthoklases so wie sie sein müßte, wenn man den Orthoklas aus unendlich dünne regelmäßig alternierenden Zwillinglamellen des Mikroklin nach Art der Reusch'schen Glimmerpakete [S. 251] nach jenen Zwillingsgesetzen aufgebaut denkt, welche die Sammelindividuen des Mikroklin sichtbarlich beherrschen. Ein Unterschied im spezifischen Gewicht konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Für diesen Fall und andere ähnliche hat Groth den Ausdruck Polysymmetrie vorgeschlagen.

Bei einer ferneren Gruppe von mimetischen Mineralen beobachtet man eine Dimorphie, die von der Temperatur abhängig ist. Mallard beobachtete, daß der Boracit $\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_{16}\text{O}_{30}$ (mimetisch tesseral) bei 265° einfach brechend wird und sich nun auch optisch wie ein tesseraler Krystall verhält. Diese Umwandlung ist mit einer kleinen Volumverminderung und mit einer Absorption von Wärme verbunden. Beim Abkühlen geht der tesserale Boracit bei derselben Temperatur in die mimetische Modifikation über, die beiden Modifikationen sind in ähnlicher Weise durch den Umwandlungspunkt voneinander getrennt, wie ein fester Körper und seine Schmelze durch den Schmelzpunkt. Ebenso wird der Leucit KAlSi_2O_6 (mimetisch tesseral) durch Erhitzen bei 560° einfach brechend und verliert bei dieser Temperatur die Zwillingriefen seiner Krystallflächen. Der Tridymit SiO_2 (mimetisch hexagonal) wird bei 130° optisch einaxig, ebenso der Arcanit K_2SO_4 (rhombisch) bei 650° . O. Lehmann nennt das Verhältnis zweier derartiger durch einen Umwandlungspunkt charakterisierter heteromorpher Modifikationen Enantiotropie.

Ein etwas anderes Verhältnis als bei den heteromorphen Mineralien besteht beim Graphit und Diamant. Beide liefern beim Verbrennen im Sauerstoffgas bloß Kohlensäure, beide bestehen also aus Kohlenstoff, doch sind sie voneinander nicht

bloß durch die Krystallform und die damit zusammenhängenden Eigenschaften, sondern ganz und gar verschieden. Der Graphit hat metallisches Ansehen und ist Leiter der Elektrizität, der Diamant ist nicht metallisch und Nichtleiter. Graphit hat den ersten, Diamant den zehnten Härtegrad. Nach Brodie verhalten sie sich auch bei chemischen Reaktionen verschieden. Diese vollständige Verschiedenheit zweier oder mehrerer Modifikationen desselben Elements hat man Allotropie genannt. Der Kohlenstoff existiert noch in einer dritten, und zwar der amorphen Modifikation.

Die in diesem Kapitel behandelten Erscheinungen gestatten eine anschauliche Erläuterung durch die Molekularhypothese. Bei der Polysymmetrie wird man eine derartige Molekularstruktur annehmen, welche sich als ein regelmäßiges zwillingsartiges Alternieren von Molekularschichten der niederen Symmetrie auffassen läßt. Hier wird also innerhalb der einzelnen Molekularschicht der Aufbau beider Modifikationen identisch und die Krystallmolekeln von derselben Art sein.

Das Statthaben der Polymorphie kann man durch eine Art Polymerie erklären, indem für die heteromorphen Minerale eine verschiedene Größe der Krystallmolekel angenommen wird.

So z. B. lassen sich die Erscheinungen beim kohlen sauren Kalk auf Polymerie zurückführen, wenn man davon ausgeht, daß die chemische Molekel CaCO_3 ist, und annimmt, daß beim Zusammentreten von drei (oder sechs) solchen Molekeln zu einer Krystallmolekel ein trigonales, beim Zusammentreten von vier solchen Molekeln ein rhombisches Netz entstehe. Die Krystallmolekel des rhomboedrigen Kalkspates wäre dann 3CaCO_3 (oder 6CaCO_3), die des rhombischen Aragonits 4CaCO_3 . Doch ist hervorzuheben, daß es bisher nicht möglich geworden ist, diese Auffassung durch andere Beobachtungen zu stützen.

Bei der Allotropie des Kohlenstoffes wird man eine sehr verschiedene Konstitution der Molekel anzunehmen haben. Denkt man sich die chemische Molekel des Graphits als C_3 , jene des Diamants als C_6 , so wäre die Bindung durch Valenzen in diesen beiden eine sehr verschiedene.

Lit. Arzruni, Physikalische Chemie der Krystalle, Braunschweig, 1893. Groth, Einleitung in die chemische Krystallographie, S. 11.

176. Isomorphie. Das bedeutendste Resultat, zu welchem die Vergleichung der Krystallform verschiedenartig zusammengesetzter Verbindungen führte, ist die Wahrnehmung, daß chemisch analog zusammengesetzte Verbindungen häufig eine gleiche oder ähnliche Krystallisation zeigen. Die Wichtigkeit dieser Beobachtung wurde zuerst von Mitscherlich erkannt, der die einander ähnlichen Formen von phosphorsauren und arsensauren Salzen bestimmte und jenen Zusammenhang als Isomorphismus bezeichnete.

Im Bereiche der Minerale spielt der Isomorphismus eine ungemein wichtige Rolle. Die Ähnlichkeit und Zusammengehörigkeit vieler Mineralarten ist durch denselben aufgeklärt worden. Da der Isomorphismus den Zusammenhang der chemischen und der physikalischen Beschaffenheit andeutet, so ist von vornherein klar, daß hier unter ähnlicher Krystallisation nicht bloß eine Gleichheit oder Ähn-

lichkeit der Kantenwinkel (Isogonismus), sondern die Gleichheit oder Ähnlichkeit des Krystallbaues zu verstehen sei. Demnach werden bei der Vergleichung der Formen sowohl die Winkel der wirklich vorhandenen Flächen als auch die Verhältnisse der Kohäsion, und zwar zuerst der Spaltbarkeit, in Betracht genommen.

An den tesseraleen Krystallen zeigt sich die Bedeutungslosigkeit des Isogonismus am auffallendsten. Die verschiedenartigsten Verbindungen krystallisieren im tesseraleen Systeme, in welchem die Winkel konstant sind. Alle diese Verbindungen sind demnach isogon, aber noch nicht isomorph. Die Isomorphie läßt sich hier nur dadurch konstatieren, daß die am häufigsten auftretenden Flächen, die Spaltbarkeit, die Art der Zwillingsbildung, als gleich erkannt werden.

Ein Beispiel der Isomorphie im rhombischen Systeme bieten die folgenden Carbonate, welche durchwegs nach dem aufrechten Prisma (110) = m und der Längsfläche (010) = b spaltbar sind, und zwar zum Teil deutlich (d), zum Teil unvollkommen (u).

	110 : 1 $\bar{1}$ 0	011 : 0 $\bar{1}$ 1	spaltbar: m	b
Aragonit Ca CO ₃	63° 48'	71° 33'	d	d
Strontianit Sr CO ₃	62° 41'	71° 48'	d	u
Cerussit Pb CO ₃	62° 46'	71° 44'	d	u
Witherit Ba CO ₃	62° 12'	72° 16'	u	d

Diese Minerale sind also in der Form und in der Spaltbarkeit ähnlich, ebenso im optischen Verhalten, da dieselben alle optisch negativ sind und die erste Mittellinie α der aufrechten Axe parallel haben. Im übrigen zeigt sich ein Unterschied darin, daß die beiden ersten die Ebene der optischen Axen parallel $a = 100$ und $\rho < \nu$, die beiden anderen aber jene Ebene parallel b und zugleich $\rho > \nu$ haben.

Von den trigonal holoedrischen Mineralen sind wiederum einige Carbonate zu nennen, die eine isomorphe Reihe bilden:

	Rhomboederwinkel	74° 55'	Spaltbark.	vollk.	parallel R,	opt.	neg.
Kalkspat . . Ca CO ₃	"	73° 9'	"	"	"	"	"
Manganspat Mn CO ₃	"	73° 0'	"	"	"	"	"
Eisenspat . . Fe CO ₃	"	72° 40'	"	"	"	"	"
Magnesit . . Mg CO ₃	"	72° 20'	"	"	"	"	"
Zinkspat . . Zn CO ₃	"		"	"	"	"	"

Diesen schließt sich an:

Dolomit . . . Ca Mg 2 CO ₃	"	73° 45'	"	"	"	"	"
---------------------------------------	---	---------	---	---	---	---	---

welcher jedoch der Stufe II angehört. Wenn isomorphen Verbindungen analoge Molekulargewichte zugeschrieben werden, so würde die einfachste Formel des Dolomits $\text{Ca Mg C}_2\text{O}_6$ dazu führen, für die übrigen trigonalen isomorphen Carbonate die doppelte Formel $\text{Ca}_2\text{C}_2\text{O}_6$ u. s. w. zu schreiben.

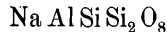
Unter den trigonalen Mineralen sind ferner isomorph das lichte Rotgiltigerz oder der Proustit Ag_3AsS_3 mit dem dunkeln Rotgiltigerz oder dem Pyrargyrit Ag_3SbS_3 , ferner die drei Sprödmetalle Arsen, Antimon, Wismut und noch manche andere.

Das hexagonale System enthält eine ausgezeichnete isomorphe Reihe, welche den Apatit mit seinen beiden Gliedern: Chlorapatit $\text{Ca}_5\text{P}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$ und Fluorapatit

$\text{Ca}_5\text{P}_3\text{O}_{12}\text{F}$, ferner den Pyromorphit $\text{Pb}_5\text{P}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$, den Mimetesit $\text{Pb}_5\text{As}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$ und den Vanadinit $\text{Pb}_5\text{V}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$ umfaßt. Alle gehören der Stufe II an.

Im tesseralen Systeme ist die Spinellreihe ein sehr bekanntes Beispiel. Die zugehörigen Minerale zeigen als hauptsächliche Form das Oktaeder und das häufige Auftreten der Zwillingsbildung nach der Oktaederfläche (S. 109). Spinell MgAl_2O_4 , Hercynit FeAl_2O_4 , Automolit ZnAl_2O_4 , Chromit FeCr_2O_4 , Magnetit FeFe_2O_4 u. a.

177. Die chemische Analogie der isomorphen Substanzen ist in vielen Fällen eine leicht verständliche, wie in den vorigen Beispielen, da in den zum Vergleiche kommenden Formeln eine gleiche Anzahl gleichwertiger (äquivalenter) und im chemischen Verhalten ähnlicher Atome angeführt erscheint. In anderen Fällen besteht die Analogie bloß in der atomistischen Gleichartigkeit, indem die Formeln der isomorphen Substanzen zwar eine gleiche Anzahl der gleichartigen Atome angeben, ohne daß aber die letzteren äquivalent wären. Ein bekanntes Beispiel geben der Kalkspat CaCO_3 und der Natriumsalpeter NaNO_3 , welche vollkommen isomorph sind, indem beide in der Form nahezu, in der Spaltbarkeit, in ihren übrigen Kohäsionsverhältnissen und im optischen Verhalten vollkommen übereinstimmen. Die Formeln zeigen atomistische Gleichartigkeit, die Metalle Ca und Na sind aber ungleichwertig, indem ersteres als zwei-, letzteres als einwertig betrachtet wird, ebenso erscheinen die Atome der Säurebildner C und N ungleichwertig, indem ersteres als vier-, letzteres als fünfwertig anzunehmen ist. Ein anderer hiehergehöriger Fall tritt bei den triklinen Feldspaten ein, von welchen der Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ und der Anorthit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ isomorph sind. Der Vergleich der Formeln



ergibt wiederum atomistische Gleichartigkeit, obgleich Na und Ca nicht äquivalent, ebenso Si und Al nicht äquivalent sind.

Es gibt auch Fälle, in welchen die Analogie der Zusammensetzung nicht zugleich als atomistische Gleichartigkeit erscheint. Diese tritt bei der Isomorphie der Kalium- mit den Ammoniumverbindungen ein. Schwefelsaures Kalium-Magnesium $\text{K}_2\text{Mg} \cdot 2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ und das entsprechende Ammoniumsalz $2\text{NH}_4 \cdot \text{Mg} \cdot 2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ sind isomorph. Hier und in allen zugehörigen isomorphen Paaren erscheinen das Atom K und die Gruppe Ammonium NH_4 , welche sowohl äquivalent als auch im chemischen Verhalten ähnlich sind, gleichartig, obwohl dieselben atomistisch verschieden sind.

Hier besteht also die chemische Analogie der isomorphen Verbindungen zum Teil in der Äquivalenz, in den zuvor angedeuteten Fällen besteht sie zum Teil in der atomistischen Gleichartigkeit, in den meisten Fällen aber vereinigen sich Äquivalenz und atomistische Gleichartigkeit.

Was die Ähnlichkeit der Form betrifft, so wurde schon früher, beim Kalkspat und Dolomit, eine Isomorphie von Krystallen verschiedener Stufen desselben Systemes anerkannt. Ein gleicher Fall ist die Isomorphie von Ilmenit FeTiO_3 (Stufe II) und Eisenglanz FeFeO_3 (Stufe V). Die Polkanten der Rhomboeder sind $94^\circ 29'$ und $94^\circ 0'$.

Der Winkelunterschied einiger Minerale, welche von manchen Forschern als isomorph betrachtet werden, ist ein recht bedeutender, wie im folgenden Beispiele:

Goethit. . . $H_2Fe_2O_4$ $110 : 1\bar{1}0 = 85^\circ 8'$ $011 : 0\bar{1}1 = 62^\circ 30'$ Spaltb. (010)
 Manganit. $H_2Mn_2O_4$ $110 : 1\bar{1}0 = 80^\circ 20'$ $011 : 0\bar{1}1 = 57^\circ 10'$ „ (010), (110).

Solche in den Dimensionen stärker unterschiedene Minerale von analoger Zusammensetzung werden bisweilen als homöomorph bezeichnet.

178. Bei der Vergleichung isomorpher Verbindungen erscheinen jene Elemente, durch welche sich dieselben unterscheiden, als diejenigen, welche die Isomorphie bedingen. Sie werden sodann als isomorphe Elemente bezeichnet. So erscheinen bei der Vergleichung der beiden isomorphen Minerale Magnesit $MgCO_3$ und Siderit $FeCO_3$ die beiden Atome Mg und Fe als die isomorphen Elemente. Die Atome sind also nicht für sich gedacht isomorph zu nennen, sondern immer nur in bestimmten Verbindungen, was oft übersehen wird.

In vielen Verbindungen erscheinen isomorph:

Die einwertigen: Cl, Br, J, auch F.

„ „ Li, Na, K, namentlich in höher zusammengesetzten Verbindungen. In einfachen NH_4 und K.

„ zweiwertigen: S, Se, zuweilen auch Te.

„ „ Be, Mg, Zn, Fe, Mn, Co, Ni.

„ „ Ca, Sr, Ba, Pb.

„ dreiwertigen: Al, Fe, Mn, Cr.

„ fünfwertigen: P, As, Sb, auch Bi.

Einwertige mit zweiwertigen: Ag mit Cu, Na mit Ca.

Dreiwertige mit vierwertigen: Al mit Si in mehreren Silikaten.

179. Durch Vergleichung von Reihen analog zusammengesetzter Verbindungen bezüglich der Krystallform ihrer Glieder läßt sich die Wirkung, welche durch den Eintritt der einzelnen wechselnden Stoffe auf die Krystallform ausgeübt wird (Morphotropie nach Groth), einigermaßen erkennen.

Als Beispiel dienen hier drei Reihen, in denen zur Charakterisierung der Form die Axenverhältnisse $a : b : c$ oder $a : c$ angeführt sind.

	Rhombisch		rhombisch		tetragonal
Ca CO_3	0·6224 : 1 : 0·7206	Ca SO_4	0·89325 : 1 : 1·0008	Ca Mo O_4	1 : 1·5445
Sr CO_3	0·6090 0·7239	Sr SO_4	0·77895 1·2801	Sr Mo O_4 *)	1·5738
Pb CO_3	0·6100 0·7230	Pb SO_4	0·78516 1·2894	Pb Mo O_4	1·5771
Ba CO_3	0·6032 0·7302	Ba SO_4	0·81520 1·3136	Ba Mo O_4 *)	1·6322

Es zeigt sich durchwegs, daß durch den Eintritt von Sr und von Pb fast der gleiche Effekt entsteht; die Grundformen der Strontium- und der Bleiverbindungen sind sehr ähnliche. Der Eintritt von Ba bewirkt im Vergleiche damit eine Verlängerung der aufrechten, der c-Axe. Umgekehrt verursacht der Eintritt von Ca

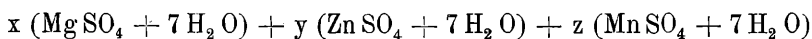
*) Diese beiden Verbindungen sind künstlich dargestellte und als Minerale noch nicht beobachtet.

eine Verkürzung der aufrechten Axe und eine starke Veränderung im Verhältnis der beiden anderen Axen in den beiden rhombischen Reihen, und in einem Falle, bei CaSO_4 , hört die Isomorphie mit den folgenden Verbindungen derselben Reihe ganz auf. Der Anhydrit CaSO_4 ist mit den folgenden Sulfaten nicht isomorph. Während also die morphotropische Wirkung von Sr und Pb fast gleich, die Wirkung von Ba eine der vorigen ähnliche ist, erscheint die Wirkung von Ca ziemlich stark verschieden.

Die isomorphe Reihe der rhomboedrigen Carbonate (S. 324) ist ferner ein Beispiel dafür, daß der Eintritt von Mg, Fe, Zn, Mn auf die Form eine nur wenig verschiedene Wirkung übt, während der Eintritt von Ca eine größere Winkeländerung mit sich bringt. Der Calcit ist mit den folgenden Carbonaten nicht vollkommen isomorph; so beträgt der Unterschied in den Rhomboederwinkeln für Calcit und Magnesit $2^\circ 15'$. Auch in anderen Fällen zeigt sich ein verschiedenes Verhalten der Ca- und Mg-Verbindungen. Der Diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (monoklin) und der Enstatit $\text{MgMgSi}_2\text{O}_6$ (rhombisch) besitzen zwar große Ähnlichkeit in den Winkeln, doch ist die Symmetrie verschieden.

Lit. über Isomorphie. Mitscherlich, Abhandl. d. Berliner Akad., Dez. 1819, S. 427. Berzelius, Annales de chimie et phys., 1820, Bd. 19, S. 350. G. Rose, Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., Bd. 16, S. 21, und Bd. 20, S. 621. Kopp, Annalen d. Chem. u. Pharm., Bd. 36, S. 1, und Pogg. Ann., Bd. 52, S. 262. Schröder, ebendas., Bd. 106 und 107. Autor, Sitzungsber. d. Wiener Ak., Bd. 45, S. 635, Bd. 50, S. 566. Groth, Pogg. Ann., Bd. 141, S. 31. Arzruni, Physikalische Chemie der Krystalle, 1893. Hier die Literatur bis zum Zeitpunkte des Erscheinens. Zahlreiche Abhandlungen von Retgers, Tutton u. a. in der Zeitschr. f. Kryst. Groth, Einleitung in die chemische Krystallographie, Leipzig 1904, und Chemische Krystallographie, Leipzig von 1905 an, bisher 3 Bde.

180. Isomorphe Mischung. Isomorphe Verbindungen, welche aus derselben Flüssigkeit krystallisieren, vermögen Mischkrystalle zu bilden, welche die einzelnen Verbindungen, je nach den Umständen der Bildung, in wechselnder Menge enthalten. So geben Lösungen der beiden isomorphen Salze: Zinkvitriol $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ und Bittersalz $\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ Mischkrystalle, welche in der Form den beiden vorigen sehr ähnlich sind und variable Mengen von dem einen und dem anderen enthalten. Ebenso geben Lösungen, in welchen Bittersalz, Zinkvitriol und Manganvitriol enthalten sind, isomorphe Mischkrystalle, welche nach den Umständen sehr verschiedene Mengen der drei Salze vereinigen, also bei der Analyse im allgemeinen das Resultat:



liefern, worin x , y , z beliebige positive Zahlen sind.

Die Zusammensetzung einer isomorphen Mischung wird entweder durch Molekularzahlen oder durch Molekularprocente oder Gewichtsprocente der isomorphen Verbindungen angegeben. Die Berechnung, welche zuerst von Beudant versucht wurde, beginnt so wie jede andere Analysenberechnung mit der Ermittlung der Molekularquotienten, indem die Gewichtsprocente der Bestandteile durch die zugehörigen Molekulargewichte geteilt werden.

Aus der Analyse eines Mesitinspates, welche Ettling 44·57 Prozent Kohlen- säureanhydrid, 33·15 Prozent Eisenoxydul und 22·29 Prozent Magnesiumoxyd lieferte, ergibt sich folgende Rechnung:

	Gewichts- procente	Mole- kular- gewicht	Mole- kular- quotient
Kohlensäureanhydrid CO_2 ..	44·57	44	= 1·013
Eisenoxydul FeO	33·15	71·84	= 0·461
Magnesiumoxyd MgO	22·29	40·32	= 0·553

Zunächst bemerkt man, daß die Summe der Molekularquotienten FeO und MgO 1·014 fast genau gleich ist dem Molekularquotienten von CO_2 , so daß also die Verbindungen $\text{FeO} \cdot \text{CO}_2$, $\text{MgO} \cdot \text{CO}_2$ oder in empirischer Formel FeCO_3 und MgCO_3 vorhanden sind. Das Verhältnis, in dem diese beiden Verbindungen gemischt sind, wird durch die Molekularquotienten von FeO und MgO angegeben. Man kann dieses Verhältnis nun ausdrücken durch ein nahestehendes Verhältnis von ganzen Zahlen; im vorliegenden Falle kommen die ganzen Zahlen 9:11 ziemlich nahe (Molekularzahlen), so daß also als Resultat der Berechnung die Formel 9 (FeCO_3) 11 (MgCO_2) geschrieben wird. Hierbei hat man sich aber zu erinnern, daß dem so unterstellten ganzzahligen Verhältnis nicht die Bedeutung der rationalen Koeffizienten nach dem Gesetz der multiplen Proportionen zukommt.

Oft werden die Molekularquotienten auf die Summe Hundert umgerechnet, was namentlich beim Vergleich vieler Mischungen vorteilhaft ist. Man erhält so die Zusammensetzung der Mischung nach Molekularprozenten. Im vorliegenden Fall ergibt sich durch Auflösung der Proportionen $0·461 : 1·014 = x : 100$ und $0·553 : 1·014 = y : 100$ für FeCO_3 45·5 Molekularprozent, für MgCO_3 54·5 Molekularprozent. D. h. unter 100 Molekeln der Mischung sind durchschnittlich 45 Molekel FeCO_3 und 55 Molekel MgCO_3 (oder genauer unter 1000 Molekeln 455 FeCO_3 und 545 MgCO_3).

Bisweilen ist es erwünscht, das Gewichtsverhältnis der isomorphen Verbindungen zu erfahren. Dieses erhält man in einfachster Weise, wenn man die Molekularquotienten mit dem Molekulargewicht der betreffenden Verbindungen multipliziert.

	Molekular- gewicht	Molekular- quotient	Gewichts- prozent
FeCO_3	115·84	$\times 0·461$	= 53·41
MgCO_3	84·32	$\times 0·553$	= 46·63

Die kleine Abweichung der Summe von 100 ist Folge der Analysenfehler. Da in den Analysenzahlen die letzte Dezimale stets, häufig sogar die vorletzte von den Analysenfehlern beeinflußt wird, da ferner die Atomgewichte zu- meist nur auf drei Stellen genau bekannt sind, hat es keinen Sinn, diese Rechnungen mit mehr als drei, höchstens vier geltenden Stellen zu führen.

Soll durch eine Formel nur das Stattfinden einer isomorphen Mischung ausgedrückt werden, so pflegt man die gemeinsamen Atome der isomorphen Ver-

bindungen nur einmal zu schreiben und faßt die Zeichen der einander vertretenden Atome durch einen Beistrich getrennt in eine runde Klammer. Demnach lautet die allgemeine Formel des Mesitins, als einer Mischung von Eisen- und Magnesiumcarbonat (Mg, Fe) CO₃.

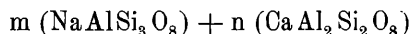
Es kommt nicht selten vor, daß von den Verbindungen, welche in isomorpher Mischung auftreten, die eine oder die andere im isolierten Zustande noch nicht bekannt ist. So z. B. erweisen sich die Minerale der Bronzitreihe als Mischungen $x(\text{MgSiO}_3) + y(\text{FeSiO}_3)$, doch ist nur die erstere Verbindung für sich als Eustatit bekannt, während bisher noch kein Mineral von der Zusammensetzung FeSiO₃ gefunden wurde. Andere Mineralgattungen lassen durch das Schwanken ihrer Zusammensetzung deutlich erkennen, daß sie isomorphe Mischungen sind, jedoch Mischungen solcher Verbindungen, welche für sich noch nicht beobachtet wurden. Hieher gehört der Chabasit, der aluminiumhaltige Augit u. a. m.

Lit. Beudant, Annales de mines, 1817, Bd. 2, S. 8. J. N. Fuchs, Schweiggers Journ. f. Chem. u. Phys., Bd. 15, S. 377. Tschermak, Feldspate, Sitzungsber. d. W. Akad., Bd. 50, S. 566, Glimmer, ebenda, Bd. 78, I., S. 1, Skapolithreihe, ebenda, Bd. 88, I., S. 1142, Chlorite, ebenda; Bd. 100, S. 29, Pyroxen und Amphibol, † Mineralog. Mitt., 1871, S. 17, Turmalin, Zeitschrift f. Kryst., Bd. 35, S. 209.

Unter den kristallisierten Mineralen kommen Mischkrystalle sehr häufig vor. Öfter ist die Natur derselben schon durch den Farbenunterschied der an dem Krystall wahrnehmbaren Schichten oder Anwachspyramiden angedeutet [56]. Häufig aber sehen diese Krystalle ganz gleichartig aus und das Vorhandensein einer Mischung läßt sich erst erkennen, wenn die Zusammensetzung mit derjenigen anderer isomorpher Minerale verglichen wird. Die Krystalle des Olivins erscheinen meistens völlig homogen, ihre Zusammensetzung ist aber wechselnd $x(\text{Mg}_2\text{SiO}_4) + y(\text{Fe}_2\text{SiO}_4)$. Sie sind isomorph mit dem Forsterit Mg₂SiO₄ und dem Fayalit Fe₂SiO₄. Demnach ist nicht zu zweifeln, daß die Olivinkrystalle zu den Mischkrystallen gezählt werden müssen.

Was hier von den Krystallen gesagt wurde, gilt aber selbstverständlich auch für kristallinische Minerale, deren Individuen ja nur unausgebildete Krystalle sind. Der körnige Olivin ist demnach ebenfalls eine isomorphe Mischung.

Die Lehre von der isomorphen Mischung ist am meisten durch die Beobachtungen an jenen triklinen Feldspaten, die Plagioklase genannt werden, ausgebildet worden. Diese sind nach der Mischungsformel



zusammengesetzt und bilden eine zusammenhängende Reihe von Mischungen. Da die beiden Endglieder derselben, Albit NaAlSi₃O₈ = Ab und Anorthit CaAl₂Si₂O₈ = An, Krystalle bilden, die sowohl in den Flächenwinkeln als auch in der optischen Orientierung erhebliche Unterschiede aufweisen, da ferner die Analogie der chemischen Zusammensetzung eine ungewöhnliche ist, so dauerte es lange, bis die von Tschermak verteidigte Ansicht von dem Statthaben einer isomorphen Mischung allgemein anerkannt wurde. Um Plagioklasmischungen kurz auszudrücken, werden für die Endglieder die vorher angegebenen Abkürzungen der Formel benutzt, wonach für jeden Plagioklas die Formel Ab_mAn_n, im ein-

zelenen Falle $Ab_3 An_1$ u. s. w. gebraucht wird. Statt der abgerundeten Molekularzahlen $m n$ werden öfter auch die Molekularprocente angegeben, wobei $m + n = 100$. In derselben Weise werden für andere Mischungsreihen, wie die der Skapolithe, Chlorite, solche abgekürzte Ausdrücke angewendet.

Wenn zwei Substanzen wegen sehr verschiedener Löslichkeit nicht gleichzeitig aus derselben Auflösung krystallisieren, also keine Mischkrystalle geben können, so wird doch die leichter lösliche eine isomorphe Schichte über der schwer löslichen bilden. Wenn daher, wie *Sénarmont* zuerst beobachtet hat, ein Krystall oder ein Spaltungsstück von Kalkspalt $CaCO_3$ in einer Lösung von Natriumsalpeter $NaNO_3$ sich mit einer isomorphen Schichte dieses Salzes bedeckt [56], so schließt man, daß diese beiden Substanzen isomorph seien. Dies wird auch durch die Ähnlichkeit der Form, die Gleichheit der Spaltbarkeit und die Analogie die Zusammensetzung bestätigt.

Ebenso wird aus dem Fortwachsen eines Aragonitkrystalles in einer Lösung von Kaliumsalpeter KNO_3 , welches von *G. Rose* wahrgenommen wurde, der Schluß gezogen, daß die beiden Körper isomorph seien und auch dieser Schluß wird durch die übrigen Eigenschaften beider Körper bekräftigt.

Verbindungen, welche verschiedenen Stufen desselben Krystallsystemes angehören, liefern dennoch bisweilen Mischkrystalle. Man kennt Mischungen des Kalkspates und des Dolomits, ebenso Mischungen von Eisenglanz und Ilmenit. Da nun die Fähigkeit, isomorphe Mischungen zu liefern, die am meisten charakteristische Eigenschaft der isomorphen Verbindungen bildet, so werden Calcit und Dolomit u. s. w. trotz des krystallographischen Unterschiedes als isomorph erklärt.

Bei der Darstellung von Mischkrystallen wurde wiederholt die Erfahrung gemacht, daß eine Substanz durch die Mischung mit einer anderen eine solche Form annahm, in welcher sie im isolierten Zustande nicht bekannt war, so daß durch die Versuche ein Dimorphismus der Substanz offenbar wurde. So beobachtete schon *Beudant*, daß aus gemischten Lösungen der beiden Salze Zinkvitriol $ZnSO_4 + 7 H_2O$ (rhombisch) und Eisenvitriol $FeSO_4 + 7 H_2O$ (monoklin) monokline Mischkrystalle von der Form des letzteren entstanden, und daß schon 15 Prozent von Eisenvitriol genügen, um der Mischung die monokline Form zu geben. Der im isolierten Zustande rhombisch krystallisierende Zinkvitriol nimmt also in der Mischung eine monokline Form an.

Einen anderen hiehergehörigen Fall beobachtete *Retgers* an den Salzen Natriumsalpeter $NaNO_3$ trigonal und salpetersaures Silber $AgNO_3$, das bei gewöhnlicher Temperatur rhombisch, von 195° an trigonal erscheint. Bei gewöhnlicher Temperatur bilden sich Mischungen beider von trigonaler Form, jedoch nur so weit, bis die Menge der zweiten Verbindung 52·5 Gewichtsprocente des Mischkrystalles beträgt. Andererseits mischen sich den rhombischen Krystallen des salpetersauren Silbers höchstens 0·8 Prozent von Natriumsalpeter bei: Begrenzte Mischbarkeit.

Lit. *Sénarmont*, Comptes rend., Bd. 38, S. 105, und *Pogg. Ann.*, Bd. 86, S. 162. *G. Rose*, Berichte der deutschen chem. Ges. 1871, S. 104. *Tschermak*, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 50, S. 566, mineralogisch-petrogr. Mitt., Bd. 4, S. 99. *Retgers*, *Tutton* u. a. in der Zeitschr. f. Kryst., Bd. 21—29.

181. In den isomorphen Mischkrystallen ändern sich die physikalischen Eigenschaften mit dem Mischungsverhältnis der reinen Verbindungen. Die physikalischen Eigenschaften erwiesen sich als stetige Funktionen des Mischungsverhältnisses. Das läßt sich am spezifischen Gewicht, an den Krystallwinkeln, den optischen Eigenschaften und an den Schmelzpunkten erkennen. Bezüglich des spezifischen Gewichtes läßt sich eine proportionale Änderung mit ziemlicher Genauigkeit erweisen, so daß das spezifische Gewicht der Mischung nach der Gesellschaftsrechnung aus den spezifischen Gewichten der reinen Verbindungen und ihrem Mischungsverhältnis berechnet werden kann.

Dies hat Tschermak an den triklinen Feldspaten zuerst nachgewiesen und ist seither durch viele andere Untersuchungen namentlich auch an Laboratoriumsprodukten durch Retgers und andere bestätigt worden. Dieses Verhalten ist der Ausdruck dafür, daß die isomorphen Verbindungen zur Mischung zusammentreten, ohne dabei eine merkliche Volumänderung zu erfahren.

Auf diesem Satz fußend, läßt sich die Rechnung folgendermaßen ausführen: Die Gewichtsmengen, in denen zwei isomorphe Stoffe A und B zur Mischung zusammentreten, seien p_1 und p_2 . Die spezifischen Gewichte seien s_1 und s_2 ; dann sind die Räume, welche die Bestandteile der Mischung einnehmen, $\frac{p_1}{s_1}$ und $\frac{p_2}{s_2}$. Das Gewicht der Mischung ist $p_1 + p_2$ und wenn man mit s das spezifische Gewicht der Mischung bezeichnet, so ist der Raum, den die Mischung einnimmt $\frac{p_1 + p_2}{s}$. Der aufgestellte Grundsatz, daß die Bestandteile mit ungeändertem Volumen zur Mischung zusammentreten, fordert, daß $\frac{p_1 + p_2}{s} = \frac{p_1}{s_1} + \frac{p_2}{s_2}$. Hieraus ergibt sich:

$$s = \frac{p_1 + p_2}{\frac{p_1}{s_1} + \frac{p_2}{s_2}}$$

Wurden die Gewichtsmengen als Gewichtsprocente berechnet, so ist $p_1 + p_2 = 100$ und die Formel lautet:

$$s = \frac{100}{\frac{p_1}{s_1} + \frac{p_2}{s_2}}$$

Ist das Mischungsverhältnis in Molekularzahlen m_1 und m_2 angegeben, so hat man, wenn M_1 und M_2 die Molekulargewichte der Verbindungen A und B sind, für p_1 den Ausdruck $m_1 M_1$, für p_2 den Ausdruck $m_2 M_2$ einzusetzen, worauf sich die Formel ableitet:

$$s = \frac{m_1 M_1 + m_2 M_2}{\frac{m_1 M_1}{s_1} + \frac{m_2 M_2}{s_2}}$$

Bezeichnet man $\frac{M_1}{s_1} = V_1$ und $\frac{M_2}{s_2} = V_2$ als die Molekularvolumen (spezifisches Volumen \times Molekulargewicht, d. h. das Volumen in Kubikzentimetern, das ein Mol in Grammen einnimmt), so erhält man $s = \frac{m_1 M_1 + m_2 M_2}{m_1 V_1 + m_2 V_2}$, in welcher Gestalt Tschermak die Formel für das spezifische Gewicht der isomorphen Mischung mitteilt.

In der Reihe der triklinen Feldspate sind die isomorphen einfachen Verbindungen:

	Spezifisches Gewicht	Molekular- Gewicht	Molekular- Volumen
Albit. . . . Ab = Na Al Si ₃ O ₈	2·624	263·00	100·2
Anorthit. An = Ca Al ₂ Si ₂ O ₈	2·758	278·87	101·1

Für die Mischungen, in denen das Mischungsverhältnis durch $m_1 \text{ Na Al Si}_3 \text{ O}_8 : m_2 \text{ Ca Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_8$ gegeben ist, wurden folgende spezifische Gewichte gefunden, die mit den nach der Tschermakschen Formel berechneten verglichen werden:

	$m_1 : m_2$	Spezifisches Gewicht	
		gefunden	berechnet
Albit	1 0	2·624	—
Oligoklas	4 1	2·651	2·651
Oligoklas	3 1	2·656	2·658
Andesin	3 2	2·679	2·678
Labrador	1 1	2·697	2·692
Bytownit	1 3	2·729	2·725
Anorthit	0 1	2·758	—

Ein sehr anschauliches Bild dieser Verhältnisse bekommt man, wenn man in ein Koordinatennetz als Abszisse die Gewichtsprocente der einen Verbindung, als Ordinate die spezifischen Volumen (d. i. die reziproken Werte des spezifischen Gewichtes $1/s$) aufträgt. Die Formel erfordert, daß die Enden der Ordinaten auf einer geraden Linie liegen. In der Fig. 503 sind mit einzelnen Punkten die aus den beobachteten Dichten abgeleiteten spezifischen Volumen an den zugehörigen Stellen eingetragen. Man bemerkt, wie genau sie an der geraden Linie liegen, welche die spezifischen Volumen von Anorthit und Albit verbindet. Die zu der Figur benützten Zahlenwerte sind:

	Gewichts- procente Anorthit	Spezifisches Volumen $1/s$
Albit	—	0·3811
Oligoklas $\text{Ab}_4 \text{An}_1$	20·9	0·3772
Oligoklas $\text{Ab}_3 \text{An}_1$	26·0	0·3765
Andesin $\text{Ab}_3 \text{An}_2$	41·3	0·3733
Labrador $\text{Ab}_1 \text{An}_1$	51·4	0·3708
Bytownit $\text{Ab}_1 \text{An}_3$	76·1	0·3664
Anorthit	100	0·3626

Bei dem angeführten Beispiel der Plagioklasse zeigt sich ein sehr geringer Unterschied im Molekularvolumen der isomorphen Verbindungen. Dasselbe Verhältnis tritt auch bei anderen isomorphen Reihen auf, in denen vollständige isodimorphe Mischungsreihen bekannt sind. Dagegen zeigen Verbindungen, die sonst die Merkmale von Isomorphie erkennen lassen und ein merklich verschiedenes Molekularvolumen besitzen, keine Neigung zur Bildung von vollständigen Mischungsreihen oder es sind doch die Mittelglieder schlecht ausgebildet.

Isodimorphe Mischungsreihen verraten sich dadurch, daß in der eben angeführten graphischen Darstellung die spezifischen Volumen der Mischungen sich nicht in eine einzige Gerade einordnen lassen, sondern durch zwei Gerade dargestellt werden, welche sich an das spezifische Volumen der stabilen Form der einfachen Verbindung anschließen. In deren geradliniger Verlängerung wäre dann das spezifische Volumen der im reinen Zustand unbekannteten heteromorphen Modifikationen zu suchen.

Die beistehende Fig. 504 zeigt dieses Verhalten nach den Untersuchungen von Retgers an Mischungen von Magnesium- und Eisensulfat mit 7 Molekeln Krystallwasser. Die Mischungen mit 0 bis 56 Prozent Magnesiumsulfat krystallisieren monoklin und schließen an den reinen Eisenvitriol mit dem Molekularvolumen 0·5269 an; sie besitzen ein Molekularvolumen entsprechend der unteren Linie, welches sich so verhält, als ob das Magnesiumsulfat hier mit dem kleineren Molekular-

Fig. 503.

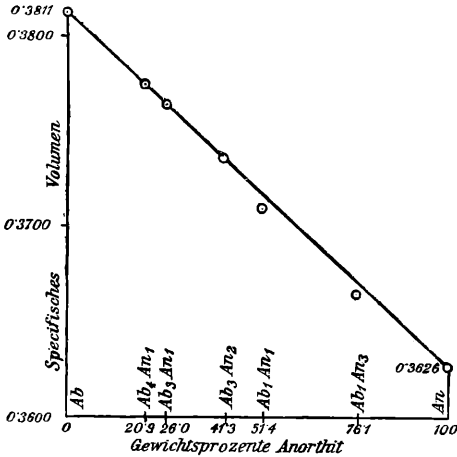
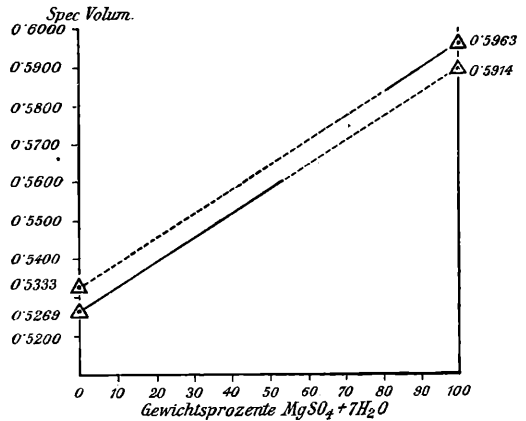


Fig. 504.



volumen 0·5914 beigemischt wäre. Die Mischungen mit 80 bis 100 Gewichtsprozent Magnesiumsulfat krystallisieren rhombisch wie das Bittersalz (Molekularvolumen 0·5963) und haben das durch die obere Linie dargestellte Molekularvolumen. In diesen Mischungen scheint das Eisensulfat mit einem größeren Molekularvolumen (0·5333 nach der Konstruktion) beigemengt zu sein.

Die Figur läßt sehr klar die Lücke in der isodimorphen Mischungsreihe erkennen.

182. In welcher Weise die Winkel des Mischkrystalles mit dem Gewichtsverhältnisse der enthaltenen Verbindungen im Zusammenhange stehen, läßt sich nach den bisherigen Beobachtungen noch nicht genauer angeben. In der Mehrzahl der Fälle ändern sich die Krystalldimensionen so, daß die Winkel des Mischkrystalles zwischen denen der Komponenten liegen.

Ein Beispiel hiefür liefern die Mischkrystalle des Titaneisenerzes, welche den Übergang von Eisenglanz zum Ilmenit bilden. Das Axenverhältnis derselben und der Gehalt an Titan befolgen nach den Beobachtungen von Doby und Melzer dieselbe Reihe.

Fundort	Axenverhältnis	Titan	Eisen
Snarum	1 : 1·368	4·53 Prozent	65·53 Prozent
Tvedestrand	1 : 1·3716	17·26	55·52 "
Ilmengebirge	1 : 1·3772	38·14	39·05 "
Kragerö	1 : 1·379	39·74	36·39 "
Prägratten	1 : 1·3844	45·78	28·22 "

Einen sehr deutlichen Hinweis auf stetige Änderung der Krystallform entsprechend dem Mischungsverhältnis liefern die Plagioklase in der Lage der Verwachsungsebene der Teilkristalle nach dem Zwillingsgesetz Zwillingsaxe die *b*-Axe (Periklingesetz. Siehe Plagioklas im speziellen Teil des Buches).

Auch die Beobachtungen von Dufet an künstlich dargestellten Verbindungen bestätigen diese Regel. Ausnahmen hievon bilden die Beobachtungen Groths an den Mischungen von übermangansaurem Kalium KMnO_4 und überchlorsaurem Kalium KClO_4 , ferner die an Mischungen desselben Salzpaares angestellten Messungen von Barker und die an Mischungen von Kaliumsulfat K_2SO_4 und Kaliumchromat K_2CrO_4 durchgeführten von Stibing, indem die Winkel der Mischkristalle zum Teil außerhalb der Grenzen liegen, welche durch die an den einfachen Salzen beobachteten Werte gebildet werden. Da gerade die außerhalb der Grenzen liegenden Mischungen schwierig krystallisieren und schlecht ausgebildete Krystalle liefern, liegt es nahe anzunehmen, daß hier die Messungen durch Vizinalflächen gestört waren.

Lit. Groth, Pogg. Ann., Bd. 133, S. 193. Doby und Melzer, ebenda, Bd. 39, S. 526. Dufet, Bul. Soc. franç., Bd. 12, S. 22. Barker, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 43, S. 537. Stibing, ebenda, Bd. 41, S. 611.

183. Die optischen Eigenschaften der Mischkristalle zeigen häufig den Zusammenhang mit den optischen Eigenschaften der enthaltenen Verbindungen deutlich an.

Bei tesseralen Mineralen kommt nur der Brechungsquotient in Betracht. Nach den Messungen von Fock ändert sich der Brechungsquotient isomorpher Mischkristalle von Kalium- und Thalliumalaun stetig mit dem Mischungsverhältnis und läßt sich nach der Mischungsregel vorausrechnen.

Bei den optisch einaxigen Mineralen sind die miteinander gemischten Verbindungen meistens optisch gleichartig. Außer der Größe der Brechungsquotienten ändert sich hier auch ihr Unterschied, die Stärke der Doppelbrechung. Dies zeigen deutlich die von Himmelbauer studierten Minerale der Skapolithgruppe, die sich nach Tschermak als isomorphe Mischungen von Mejonit ($\text{Me} = \text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{25}$) und Marialith ($\text{Ma} = \text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$) deuten lassen. Folgende Tabelle läßt die Änderung im optischen Verhalten erkennen:

	Mol.-Proz.		ω	ϵ	$\omega - \epsilon$
	Me	Ma			
Mejonit Vesuv	96	4	1·5897	1·5564	0·0333
Skapolith Grass Lake . . .	69	31	1·5828	1·5512	0·0316
Skapolith Arendal	46	54	1·5664	1·5464	0·0200
Couzeranit Pyrenäen	28	72	1·5554	1·5429	0·0125
Marialith Pianura	15	85	1·5463	1·5395	0·0068

Bisweilen kommen auch Mischungen von optisch positiven und von optisch negativen Substanzen vor. Dann muß es Mittelglieder geben, die sich isotrop verhalten; in der Tat ist das für manche Melilithe beobachtet, die als Mischungen von optisch positivem Akermannit mit optisch negativem Gehlenit gelten.

Da diese Kompensation der Doppelbrechung immer nur für eine bestimmte Spektralfarbe gilt, sind solche Mischungen optisch positiv für den einen Teil des Spektrums, optisch negativ für den anderen, was sich durch anomale Interferenzfarben zu erkennen gibt.

In den rhombischen Mineralen bieten die einzelnen Verbindungen häufig gleiche Orientierung, also bloß Verschiedenheit im Axenwinkel dar. Die Mischung zeigt ein Variieren des Axenwinkels, je nach dem Verhältnis der Mischung. An den Mineralen der Bronzitreihe, welche Mischungen von Mg_2SiO_4 und $FeSiO_3$ sind, konnte Tschermak nachweisen, daß mit der Zunahme der zweiten Verbindung, also mit Zunahme des Eisens, auch der positive Axenwinkel zunimmt, S. 245.

Die Änderung des Axenwinkels ist aber nur eine Folge der Änderung der Brechungsquotienten, die sich auch hier mit dem Mischungsverhältnis der reinen Verbindungen stetig ändern. Dies zeigt sich deutlich bei den Mineralen der Olivin-Gruppe, die isomorphe Mischungen von Forsterit Mg_2SiO_4 und Fayalit Fe_2SiO_4 darstellen.

	Mol.-Proz.		α	β	γ	$\gamma - \alpha$	2V
	Mg_2SiO_4	$(Fe, Mn)_2SiO_4$					
Forsterit	100	0	1·6361	1·6519	1·6698	0·0337	+
Olivin	92·6	7·4	1·6507	1·6669	1·6856	0·0349	+
Olivin aus Pallaseisen .	87·5	12·5	1·6562	1·6726	1·6921	0·0359	—
Olivin Itkul	80·2	19·8	1·6694	1·6878	1·7067	0·0373	—
Hyalosiderit Limburg.	66·1	33·9	—	1·7276	1·7426	—	—
Fayalit Rockport . . .	1·6	98·4	1·8236	1·8642	1·8736	0·0500	—

Bisweilen tritt aber auch der Fall ein, daß in den sich mischenden Verbindungen die Axenebene eine verschiedene Lage hat (S. 240).

In den monoklinen Mischkrystallen haben die darin vorhandenen Substanzen bloß eine Hauptschwingungsrichtung in gleicher Lage, zwei aber sind verschieden gelagert, wenngleich innerhalb der Symmetrieebene. Ein Beispiel einfacher Art geben die Mischungen der beiden Silikate $CaMgSi_2O_6$ und $CaFeSi_2O_6$ (Diopsidreihe). Beide Verbindungen haben die Ebene ihrer optischen Axen parallel der Symmetrieebene wie der Gyps, S. 253. In der ersten Verbindung ist aber der Winkel $\alpha\gamma = 51^\circ 6'$, in der zweiten $\alpha\gamma = 44^\circ 4'$. In den Mischkrystallen ist nun, wie Tschermak zeigte, dieser Winkel kleiner als $51^\circ 6'$ und nähert sich um so mehr dem Werte von 44° , je mehr von der zweiten Substanz darin vorhanden ist. Zugleich wird auch der positive Axenwinkel größer, wie dies schon bei der Bronzitreihe bemerkt wurde.

In triklinen Mischungen sind die enthaltenen Substanzen im allgemeinen optisch gänzlich verschieden, aber auch hier ändern sich Orientierung, Dispersion und Axenwinkel entsprechend dem Verhältnis der Mischung. Dies wurde von Schuster an den Plagioklasen erkannt, welche, wie schon erwähnt wurde, isomorphe Mischungen von Albit $NaAlSi_3O_8$ und Anorthit $CaAl_2Si_2O_8$ darstellen. Die beiden Komponenten sind optisch sehr verschieden (S. 252). In den Gliedern der Mischungsreihe wurde ein allmählicher Übergang bezüglich der optischen Orientierung und des Axenwinkels beobachtet.

In der letzten Zeit wurden von Dufet, Mallard, Pockels u. a. Versuche gemacht, die Abhängigkeit der Brechungsquotienten der Mischkrystalle von dem Gewichtsverhältnis und den Brechungsquotienten der einzelnen Substanzen zu ergründen und diese Versuche wurden auch auf die Lage der optischen Axen und der Hauptschwingungsrichtungen ausgedehnt. Voraussetzung ist, daß die optischen Eigenschaften einer jeden der sich mischenden Substanzen in den Mischkrystallen zur Geltung kommen, nur beeinflußt durch die Superponierung der anderen. Diese Versuche geben in den einfacheren Fällen ein Resultat, das mit der Erfahrung ziemlich gut übereinstimmt, doch zeigen sich bei den monoklinen und triklinen Krystallen Abweichungen, die größer sind als die möglichen Fehler der optischen Bestimmungen und der Ermittlung des Mischungsverhältnisses, so daß man annehmen muß, daß die Voraussetzung der Rechnung nicht streng erfüllt ist. Wahrscheinlich liegt der Grund der Abweichungen darin, daß durch das Zusammenkrystallisieren der weder im Molekularvolumen noch in der Orientierung der Anziehungsrichtungen (= Krystallkanten, Molekularlinien) vollkommen übereinstimmenden reinen Verbindungen Spannungen entstehen, die sich optisch zu erkennen geben. Hiemit steht in Einklang, daß bei tesseralen und einaxigen isomorphen Mischungen oft optische Anomalien zu bemerken sind. Tesserale Krystalle erscheinen doppelbrechend, einaxige erscheinen zweiaxig; diese anomalen Teile sind in ihrer optischen Orientierung abhängig von der wachsenden Oberfläche derart, daß die Anwachspyramiden verschiedener Krystallflächen ein verschiedenes Verhalten zeigen.

Lit. Tschermak, Mineralog. Mitt., 1871, S. 17. Schuster, ebendas., Neue Folge, Bd. 3, S. 117. Dufet, Bulletin d. l. soc. minéralogique d. F., Bd. 1, S. 58. Mallard, ebendas., Bd. 3, S. 3. Ann. de mines, 7. Serie, Bd. 19, S. 256. Fock, Zeitschr. für Kryst., Bd. 4, S. 583. Pockels, Jahrb. f. Min., Beilageb. 8, S. 117. Becke, Min. Petr. Mitt., Bd. 25, S. 1.

184. Schmelzpunkte isomorpher Mischkrystalle. Auch bezüglich der Schmelzpunkte isomorpher Mischungen gilt die Regel, daß sie sich mit dem Mischungsverhältnis der reinen Verbindungen stetig ändern, und daß die Schmelzpunkte der Mischungen zwischen denen der reinen Verbindungen liegen. Als Beispiel seien wieder die Plagioklase genannt; Day und Allen bestimmten an künstlich hergestellten Krystallen folgende Schmelzpunkte*):

	Schmelzpunkt
An	1532°
Ab ₁ An ₅	1498°
Ab ₁ An ₂	1464°
Ab ₁ An ₁	1419°
Ab ₂ An ₁	1367°
Ab ₃ An ₁	1340°
Ab	unbestimmbar

*) Die hier angegebenen Temperaturen sind wesentlich höher als die S. 268 nach den Versuchen von Doelter angeführten. Der Grund der Nichtübereinstimmung liegt in der Verschiedenheit der Methode.

Die Fig. 505 zeigt den Verlauf der Schmelzkurve. Als Abszisse sind Gewichtsprozent der beiden reinen Verbindungen, als Ordinaten die Schmelzpunkte aufgetragen.

Bei diesen Experimenten zeigten die bei der Abkühlung der Schmelze unter den Schmelzpunkt entstehenden Krystalle dasselbe Mischungsverhältnis von Albit und Anorthit wie die Schmelze selbst.

In anderen Fällen erweisen sich die ausfallenden Krystalle reicher an dem Bestandteil mit höherem Schmelzpunkt, so daß der verzeichneten Kurve der Schmelzpunkte eine zweite Kurve entspricht, welche das Mischungsverhältnis der mit der Schmelze beim Erstarrungspunkt im chemischen Gleichgewicht stehenden Krystalle darstellt. In Fig. 506 würde eine Schmelze, deren Mischungsverhältnis durch *M*, deren anfängliche Temperatur durch *T* gegeben ist, bei der Abkühlung, sobald die Temperatur *a* erreicht ist, Krystalle von der Zusammensetzung *b*

Fig. 505.

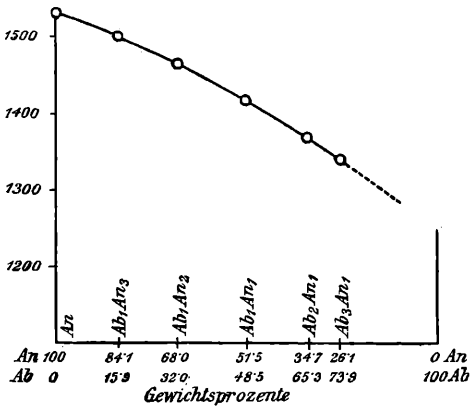
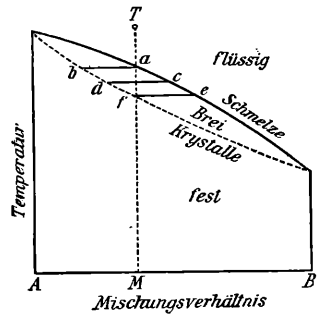


Fig. 506.



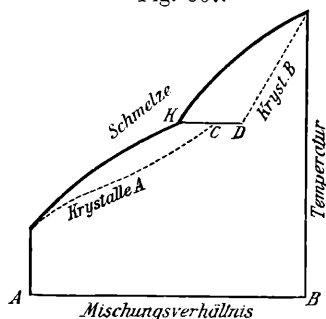
liefern, deren Mischungsverhältnis gefunden wird, indem man vom Punkt *a* der Schmelzkurve eine horizontale Linie zieht, welche die Kurve des Mischungsverhältnisses der Krystalle im Punkt *b* trifft. Die zugehörige Abszisse gibt dann das Mischungsverhältnis der sich ausscheidenden Krystalle an. Durch Ausscheidung der an *A* reicheren Krystalle *b* ändert sich die Zusammensetzung der Schmelze, sie wird reicher an *B*, zugleich nimmt die Temperatur ab; der Zustand der Schmelze wird nun durch den Punkt *c* dargestellt; mit dieser Schmelze in Berührung sind aber die ursprünglich ausgeschiedenen Krystalle nicht mehr bestandfähig, sondern Krystalle von dem Mischungsverhältnis *d*. Bei genügend langsamer Abkühlung werden sich die erst ausgeschiedenen Krystalle durch Abgabe von *A* und Aufnahme von *B* mit der Schmelze ins Gleichgewicht setzen, und dieser Prozeß wird so lange fort dauern, bis der letzte verschwindende Rest der Schmelze die Zusammensetzung *e* erreicht und die Krystalle das Mischungsverhältnis *f* erreichen, welches mit dem ursprünglichen identisch ist.

Die Schmelzen isomorpher Verbindungen haben demzufolge keinen einfachen Erstarrungspunkt, sondern ein Erstarrungsintervall (*a—f* in der Fig. 506).

Bei Metallegierungen und Schmelzen künstlicher Krystalle sind noch andere Verhältnisse als möglich erkannt und durch die Erfahrung bestätigt worden, wobei

die Kurve der Schmelzpunkte ein Minimum oder ein Maximum durchläuft. Unter den isomorphen Mischungsreihen, die als Minerale vorkommen, kennt man bisher kein sicheres Beispiel dieser Typen, dagegen folgen mehrere Mineralgruppen dem durch Fig. 506 dargestellten Fall.

Fig. 507.



Für isodimorphe Reihen ist theoretisch ein Verlauf der Schmelzkurve zu erwarten, der sich von Fig. 506 dadurch das Auftreten eines Knicks *K* in der oberen Kurve und einer der Lücke entsprechenden Unterbrechung in der unteren Kurve unterscheidet, so wie es Fig. 507 darstellt. Nach Vogt scheint es, daß Mischungen von rhombischem Bronzit $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ und monoklinem Diopsid $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$ diesem Schema entsprechen.

Ähnliche Gesetze wie bezüglich der Schmelzpunkte gelten auch für die Löslichkeit isomorpher Mischkrystalle.

Lit. J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen, Christiania, Videnskabs Selskabs Skrifter, 1903, Nr. 8, und 1904, Nr. 1, Min. Petr. Mitt., Bd. 24, S. 435, und Bd. 25, S. 360. Doelter, Physikal. Chem. Mineral. 1905, S. 61, und Handbuch der Mineralchemie, 1913, Bd. II. Bakhuis Roozeboom, Zahlreiche Arbeiten in der Zeitschr. f. physikal. Chemie, Bd. 30, S. 385, u. folg. Bände. A. L. Day und E. T. Allen, Carnegie Institution of Washington, Nr. 31, 1905.

185. Ausbildung isomorpher Mischkrystalle. Es gibt zahlreiche Beispiele von isomorphen Mischkrystallen, welche bei physikalischer Untersuchung homogen befunden werden. In vielen Fällen zeigen sich aber Unterschiede in der Beschaffenheit der aufeinanderfolgenden Schichten, die sich durch Unterschiede der Färbung, der optischen Eigenschaften, der Zersetzbarkeit zu erkennen geben. Sehr verbreitet ist bei den monoklinen Augiten das Auftreten eines helleren Kernes, welcher von dunkleren Schichten umgeben wird. An den Plagioklasen ist die Erscheinung sehr häufig, daß ein anorthitreicherer Kern von albitreicheren Schichten umwachsen wird. Diese Zonenstruktur steht mit dem in Fig. 506 dargestellten Verhalten in Einklang, insofern aus der Schmelze, die zwei isomorphe Verbindungen enthält, sich zunächst Krystalle mit einem höheren Gehalt am Bestandteil mit höherem Schmelzpunkt ausscheiden. Wenn nun diese zuerst ausgeschiedenen Kerne sich mit der abkühlenden Schmelze nicht durch Austausch ins Gleichgewicht setzen, so müssen sie sich mit Schichten umgeben, die nun immer reicher an dem Bestandteil mit niedrigerem Schmelzpunkt werden.

Bisweilen kann man am Kern Erscheinungen wahrnehmen, die als Beginn jenes Austausches gedeutet werden können, indem von dem zuerst ausgeschiedenen Kern nur ein korrodiertes Kerngerüst übrig bleibt, dessen Höhlungen mit einer Mischung erfüllt sind, die reicher ist an dem Bestandteil mit niedrigerem Schmelzpunkt.

Bisweilen zeigen die Mischkrystalle auch Beziehungen zum Aufbau der Krystalle aus Anwachsipyramiden. Namentlich am Pyroxen unterscheiden sich die Anwachsipyramiden der vertikalen Flächen häufig durch dunklere Farbe und größere Auslöschungsschiefe von den Anwachsipyramiden der Pyramiden-, Quer-

prismen- und Endflächen und verraten dadurch den Unterschied im Mischungsverhältnis der eisenfreien und eisenhaltigen Verbindungen. (Vergl. Sanduhrstruktur S. 127.)

186. Zahlreich sind die Versuche, welche gemacht wurden, um die Bildung isomorpher Mischungen mit der Molekularhypothese in Einklang zu bringen. Nach dieser sind die Krystalle Systeme gleicher Molekeln, die in ein und derselben Richtung immer äquidistant angeordnet erscheinen. In einer isomorphen Mischung würden die Plätze, welche im einfachen Krystall von lauter gleichen Molekeln besetzt sind, zum Teil von anderen Molekeln eingenommen. Dies wäre ganz gut denkbar, wenn den letzteren Molekeln dieselben Richtungen der Anziehung zukämen wie den ersteren, und wenn der Raum, den die eingeschalteten Molekeln beanspruchen, derselbe wäre wie jener, welcher einer Molekel der ersten Art zukommt. Diese Bedingungen sind aber niemals vollkommen erfüllt. Die Anziehungsrichtungen sprechen sich in den Krystallwinkeln aus und diese sind bisweilen um 2° verschieden (Albit und Anorthit). Der Raum, welchen vergleichsweise je ein Molekel beansprucht, das sogenannte Molekularvolumen, wird nach dem Quotienten des Molekulargewichtes durch das spezifische Gewicht beurteilt [181].

Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 = 263,$	spez. Gewicht 2·624,	Molekularvolumen 100·2
Anorthit . .	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 = 278·87,$	„ „ 2·758,	„ 101·1

Hier sind die Molekularvolumen nahezu gleich. Die Mischung ist vollständig.

Aragonit	$\text{CaCO}_3 = 100·07,$	spez. Gewicht 2·936,	Molekularvolumen 34·1
Cerussit	$\text{PbCO}_3 = 267·1$	„ „ 6·52	„ 41·0

Hier ist das Molekularvolumen sehr verschieden, isomorphe Mischungen sind nur in sehr beschränktem Ausmaß bekannt.

Für Kaliumsulfat K_2SO_4 , Ammoniumsulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und Cäsiumsulfat Cs_2SO_4 sind die Molekularvolumen 65·3, 75·1 und 85·2. Kalium- und Ammoniumsulfat bilden eine Mischungsreihe; ebenso Ammonium- und Cäsiumsulfat. Dagegen mischen sich Kalium- und Cäsiumsulfat nicht merklich.

Die Molekeln der isomorph beigemischten Substanzen passen also in vielen Fällen wenig in die ihnen zukommenden Plätze und doch wird durch ihr Eintreten, wie es scheint, keine Volumänderung hervorgerufen.

Wenn man von jeder Hypothese absieht, so erscheinen die isomorphen Mischungen als innige Verwachsungen verschiedenartiger Minerale und bilden, wie früher erwähnt wurde, den Grenzfall der isomorphen Schichtung [56].

187. Feste Lösungen. Die isomorphen Mischungen stellen in gewissem Sinne eine Abweichung von dem Grundgesetz der Chemie dar, daß die Verbindungen nach bestimmten konstanten Gewichtsverhältnissen ihrer Bestandteile zusammengesetzt sind. Denn in ihnen sind die isomorphen reinen Verbindungen in schwankenden, nicht durch ganzzahlige Koeffizienten ausdrückbaren Mengen vereinigt zu einem Körper, der gleichwohl physikalisch homogen ist. Ähnliches Verhalten kannte man von den Lösungen fester Körper in Flüssigkeiten oder von verschiedenen Flüssigkeiten ineinander. Man hat daher auch die isomorphen Mischkrystalle als feste Lösungen bezeichnet. Solche physikalisch homogene Körper, welche

in molekularer Verteilung zwei chemische Stoffe in wechselnden, nicht durch das Gesetz der multiplen Proportionen ausdrückbaren Verhältnissen in gegenseitiger Durchdringung enthalten, sind aber auch sonst bekannt geworden. So hat das im reinen Zustand farblose Mineral Salmiak NH_4Cl öfter eine dilute gelbe Farbe und enthält wechselnde Mengen von Eisenchlorid FeCl_3 , die bis zu mehreren Prozenten anwachsen können. Solche Krystalle lassen sich auch leicht künstlich durch Krystallisation einer Lösung von Salmiak und Eisenchlorid gewinnen. In gleichem Sinne werden nun auch andere Abweichungen von der bestimmten, durch eine einheitliche Formel ausdrückbaren chemischen Zusammensetzung bei homogenen Krystallen gedeutet.

So enthalten die Krystalle des Magnetkieses fast stets eine etwas größere Menge Schwefel, als die Formel FeS verlangt, der sich die Zusammensetzung des Minerals nähert. Die betreffenden Krystalle erweisen sich bei sorgfältigster Untersuchung homogen. Der Überschuß von Schwefel schwankt von ganz unmerklichen Beträgen bis zu 5 Prozent. Mit der Zunahme des Schwefelgehaltes nimmt das spezifische Gewicht ein wenig ab. Man drückt dieses Verhalten so aus, daß man der Verbindung FeS die Fähigkeit zuschreibt, eine gewisse Menge Schwefel in Form einer festen Lösung aufzunehmen, d. h. so, daß ein physikalisch homogener Krystall entsteht, dessen Eigenschaften sich umsomehr von denen der reinen Verbindung entfernen, je mehr von der fremden Substanz aufgenommen wurde.

Durch geeignete Vorkehrungen ist man im stande gewesen, solche feste Lösungen von Schwefel in Magnetkies auch künstlich zu erzeugen.

In ähnlicher Weise erklärt man die Zusammensetzung des Nephelins, der sich der einfachen Formel $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ nähert, aber immer einen etwas höheren Gehalt an Kieselsäure ergibt, durch das Stattfinden einer festen Lösung einer kieselsäurereichereren Verbindung (Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) in dem Nephelinsilikat.

Auch die durch färbende Substanzen dilut gefärbten Krystalle kann man als Beispiele fester Lösungen anführen. Hier ist es allerdings fast noch nirgends gelungen, den in fester Lösung vorausgesetzten Stoff zu ermitteln.

Einen ferneren Fall von Abweichungen vom chemischen Grundgesetz stellen manche kolloide Verbindungen dar, welche schwankende und nicht durch rationale Koeffizienten ausdrückbare Mengen anderer Stoffe aufnehmen und festhalten können. Man erklärt diese Erscheinungen durch die Adsorption. Da man kolloide Stoffe als solche ansieht, welche die Verbindung in ungemein feiner Verteilung enthalten, so daß sich die Wirkung der infolgedessen sehr großen Oberflächen geltend macht, erreichen die durch Adsorption an der Oberfläche festgehaltenen Substanzmengen bedeutende Beträge. Häufig vermitteln solche Adsorptionsverbindungen den Übergang zu feinkrystallinen Neubildungen.

Footo u. Bradley, Am. Journ. Sc., Bd. 31, S. 25, 1911. Bowen, Ebenda, Bd. 33, S. 49, 1912.

188. Darstellung der Verbindungen. Das Resultat, welches die Analyse eines Mineralen ergeben hat, erhält seine volle Bestätigung, wenn es gelingt, dieselbe chemische Verbindung in der nämlichen Form, wie selbe in der Natur vorkommt, künstlich darzustellen. Diese Operation ist entweder eine Synthese, eine Herstellung

der Verbindung oder ein Herbeiführen der Krystallisation, ein Erfüllen der Bedingungen, unter welchen eine schon vorhandene Verbindung Krystalle liefert [8].

Da man bloß jene Körper, welche Bestandteile der Erdrinde und ohne die Absicht des Menschen entstanden sind, als Minerale bezeichnet, so ist es eigentlich nicht konsequent, zu sagen, daß wir Minerale künstlich darzustellen vermögen, vielmehr läßt sich eine solche Darstellung besser als eine Nachahmung oder Nachbildung bezeichnen. Es ist aber allgemein üblich, von künstlichem Beiglanz, Augit etc. zu sprechen.

Die eleganteste Methode zur Darstellung von Mineralverbindungen ist die gegenseitige Einwirkung von Dämpfen bei höherer Temperatur. Dämpfe von Zinkchlorid geben beim Zusammentreffen mit Schwefelwasserstoff Krystalle von Zinkblende ZnS nach der Gleichung $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{ZnS} + 2\text{HCl}$. Die entstandene Salzsäure geht gasförmig fort (Durocher). Dämpfe von Titanchlorid oder Titanfluorid liefern bei der gegenseitigen Zersetzung mit Wasserdämpfen Titandioxyd TiO_2 in der Form des Rutil, unter bestimmten Umständen auch von der Form des Brookits: $\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 + 4\text{HCl}$ (Hautefeuille).

Durch die gegenseitige Einwirkung der Dämpfe von Eisenchlorid und Wasser entstehen Krystalle von Eisenglanz: $2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}$ (Gay-Lussac).

Auch durch Einwirkung von Dämpfen auf feste Körper bilden sich zuweilen krystallisierte Verbindungen, z. B. Zinksilikat in der Form des Willemits bei der Einwirkung von Kieselfluorid auf Zinkoxyd: $\text{SiF}_4 + 4\text{ZnO} = \text{Zn}_2\text{SiO}_4 + 2\text{ZnF}_2$, das entstandene Zinkfluorid wird bei der hohen Temperatur verflüchtigt.

Zuweilen bewirkt der Dampf eine Krystallisation der festen Verbindung, ohne in dieser etwas von seinen Bestandteilen zu hinterlassen. So bilden sich Kryställchen von Zinnstein SnO_2 oder Rutil TiO_2 , wenn über die pulverigen glühenden Oxyde Salzsäuredämpfe geleitet werden (S. C. Deville).

Eine andere Methode, krystallisierte Verbindungen darzustellen, benützt gleichfalls hohe Temperaturen und läßt die Körper aus einer Schmelze krystallisieren. Unabsichtlich erhält man auf solchem Wege die Krystalle in den Hohlräumen der Schlacken beim Eisenprozeß, z. B. Krystalle von der Form und Zusammensetzung des Olivins, des Diopsids, des Humboldtiths. Absichtlich lassen sich durch Zusammenschmelzen der Bestandteile vielerlei Krystalle darstellen, z. B. solche, welche dem Antimonglanz, dem Diopsid entsprechen (Mitscherlich).

Durch Herstellung einer Schmelze von geeigneter prozentischer Zusammensetzung und langsame Abkühlung, wobei die Probe möglichst lange bei einer Temperatur knapp unter dem Erstarrungspunkt erhalten wird, gelingt es, mikroskopische und auch größere Krystalle zu erhalten, welche mehreren Feldspaten, ferner dem Leucit, Nephelin, Pyroxen, Melilith, Olivin u. s. w. entsprechen. Diese Methode wurde von Fouqué und M. Lévy zuerst mit Erfolg angewendet und später von Doelter und seinen Schülern, von Morozewics, insbesondere auch von Day und seinen Mitarbeitern im geophysikalischen Institut in Washington mannigfach erweitert und fortentwickelt. Manche Verbindungen, die eine dünnflüssige Schmelze liefern, krystallisieren unter diesen Umständen sehr leicht (Olivin, Melilith, Pyroxen). Andere, deren Schmelze sehr zähe (viskose) ist, krystallisieren

nur schwierig oder gar nicht; sie stellen nach der Abkühlung ein amorphes Glas dar, wie die Alkalifeldspate Albit und Orthoklas. Durch Zufügen von gewissen Substanzen, wie wolframsaures Natrium, wird die Zähigkeit der Schmelze vermindert und nun gelingt es, auch solche Minerale in Krystallen zu erhalten (Hautefeuille). Durch Hinzufügen von Fluorverbindungen konnten Glimmerkrystalle aus einer geeigneten Schmelze hergestellt werden (Doelter, Chrustschoff.)

Eine Methode, welche zwar nur beschränkte Anwendung gefunden, aber zu ungewöhnlich schönen Nachahmungen von Edelsteinen geführt hat, besteht darin, daß man in eine heiße Sauerstoff-Leuchtgasflamme fein verteilte Tonerde Al_2O_3 einführt. Die feinen Partikel kommen zum Schmelzen und der feine Regen von Schmelztröpfchen fällt auf eine entgegengestellte feuerfeste Unterlage. Hier krystallisiert die Schmelze zu einem einzigen großen Individuum von Erbsen- bis Bohnengröße. Reine Tonerde liefert farblosen Korund, durch Zusatz von Chromoxyd erhält man prachtvoll rotgefärbte Krystalle, die den natürlichen Rubin an Größe und Schönheit übertreffen und ihm in allen wesentlichen Eigenschaften: Krystallform, Härte, spezifisches Gewicht, optische Eigenschaften, gleichen. Durch andere Zusätze lassen sich auch andere Farbenvarietäten herstellen (Verneuil). Nach diesem Verfahren werden „synthetische Edelsteine“ für Schmuck fabrikmäßig erzeugt.

Moissan erhielt mikroskopisch kleine Diamantoktaeder, indem er Kohlenstoff in einer Eisenschmelze auflöste und die Schmelze von außen abschreckte. Innerhalb der eisernen Kruste erstarrt der Rest der Schmelze im Innern des Metallkuchens unter starkem Druck. Der gelöste Kohlenstoff krystallisiert dabei zum Teil als Diamant. Später gelang diese Krystallisation von Diamant auch durch Beschickung von Olivinschmelze mit Kohlenstoff bei normalem Druck (Friedländer und Haßlinger).

Durch Zusammenschmelzen von Verbindungen, welche eine doppelte Zersetzung eingehen, wurde eine Anzahl Minerale nachgeahmt, z. B. Baryt durch Zusammenschmelzen von Chlorbaryum und Kaliumsulfat $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{KCl}$, das entstandene Chlorkalium wurde durch Wasser entfernt (Manroß). Ebenso wurde Gelbbleierz durch Schmelzen von Chlorblei mit der entsprechenden Menge von molybdänsaurem Natron und Auflösung des gebildeten Chlornatriums nachgeahmt: $\text{PbCl}_2 + \text{Na}_2\text{MoO}_4 = \text{PbMoO}_4 + 2\text{NaCl}$.

Eine allgemeiner anwendbare Methode wurde von Ebelmen angebahnt. Bei dieser fungiert ein Teil der Schmelze bloß als Lösungsmittel. Durch Schmelzen der Stoffe, welche dem Olivin, dem Perowskit entsprechen, mit Borsäure entstand in der Hitze des Porzellanofens eine Flüssigkeit, die nach allmählichem Verdampfen der Borsäure Krystalle hinterließ, welche die Eigenschaften des Olivins, respektive des Perowskits besaßen. Viele andere Krystalle wurden durch ähnliche Versuche dargestellt. Für die Lehre vom Isomorphismus war besonders die Nachahmung der Glieder der Spinellreihe (S. 325) von Wichtigkeit. Forehammer benutzte eine Schmelze von Chlornatrium, in welche die Bestandteile des Apatits eingetragen waren, um die dem letzteren entsprechenden Krystalle darzustellen.

Durch Ausscheidung aus wässrigen Lösungen bei mäßigen Temperaturen wurden viele Verbindungen, welche als Minerale vorkommen und in Wasser leicht

löslich sind, hergestellt. Beispiele sind Soda, Kupfervitriol, Eisenvitriol. Die Kenntnis der Krystallform dieser Minerale beruht auf Messungen an künstlich dargestellten Krystallen, da die natürlichen unvollkommen sind. Es gelang aber auch durch Modifikationen des Verfahrens schwer lösliche Minerale nachzuahmen, indem eine doppelte Zersetzung eingeleitet, aber durch allmähliche Diffusion verlangsamt wurde (Macé, Drevermann). Eisenvitriol und salpetersaures Baryum gaben schöne Barytkrystalle $\text{FeSO}_4 + \text{Ba N}_2 \text{O}_6 = \text{BaSO}_4 + \text{Fe N}_2 \text{O}_6$, chromsaures Kali und salpetersaures Blei lieferten Krystalle von Rotbleierz $\text{K}_2 \text{CrO}_4 + \text{Pb N}_2 \text{O}_6 = \text{PbCrO}_4 + 2 \text{KNO}_3$.

Bei derlei Versuchen wurde aber zuweilen ein starker Druck, oft auch zugleich eine höhere Temperatur angewendet. Die aufeinander wirkenden Stoffe waren mit Wasser in Glasröhren eingeschlossen, welche auf 100° bis 250° erhitzt wurden, wobei sich im Innern ein starker Dampfdruck entwickelte. Eine Lösung von Eisenvitriol gibt, mit kohlenurem Natron eingeschlossen, in solcher Weise künstlichen Eisenspat $\text{FeSO}_4 + \text{Na}_2 \text{CO}_3 = \text{FeCO}_3 + \text{Na}_2 \text{SO}_4$. Kupferkies FeCuS_2 läßt sich durch Einwirkung von Chlorkupfer und Chloreisen in einer Lösung von Schwefelkalium darstellen (Sénarmont). Bei noch höheren Temperaturen und dem gleichzeitig entstehenden hohen Drucke wirkt das Wasser zersetzend auf das Glas und es bilden sich aus demselben Quarz, Wollastonit (Daubrée), aus $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$ und den entsprechenden Mengen von $\text{Al}_2 \text{O}_3$ und SiO_2 wird Albit $\text{NaAlSi}_3 \text{O}_8$ gebildet, bei Anwendung von $\text{K}_2 \text{SiO}_3$ aber Orthoklas $\text{KAlSi}_3 \text{O}_8$ (Friedel und Sarasin). Lösungen von Kieselsäure in Wasser, welche längere Zeit in geschlossenen Gefäßen bis ungefähr 550° erwärmt werden, geben Quarz, nach Hinzufügen von Tonerdehydrat und Kali liefern dieselben Orthoklas (Chrustschoff). Eine Lösung von Natriumcarbonat, mit Tonerdehydrat versetzt, gibt unter gleichen Umständen Korund und Diaspor (Friedel).

Die Versuche der Nachbildung werfen zuweilen ein Licht auf die Entstehungsweise der Minerale, wenn die in der Natur gegebenen Bedingungen wiederholt erscheinen. So gibt der vorher angeführte Versuch, bei welchem Dämpfe von Eisenchlorid und Wasser in dem glühenden Rohre Eisenglanzkryställchen absetzen, die Erklärung der Bildung von Eisenglanzkrystallen in den Spalten der Vesuvlava, da hier sowohl die hohe Temperatur als in den Emanationen die Gegenwart von Eisenchlorid- und Wasserdämpfen beobachtet ist.

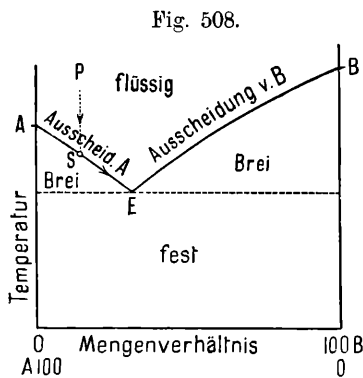
Bei der Mehrzahl der obengenannten Versuche ist jedoch auf die in der Natur herrschenden Entstehungsbedingungen keine Rücksicht genommen, und solche Nachbildungen haben keine genetische Bedeutung. In der letzten Zeit sind jedoch zusammenhängende Versuchsreihen bekannt geworden, welche darauf gerichtet sind, jene Umstände physikalischer und chemischer Natur, welche die Bildung der in der Natur miteinander auftretenden Minerale herbeiführen, zu erforschen und auf Grund dieser Erkenntnis die Minerale unter den gleichen Bedingungen wie in der Natur nachzubilden. Hieher gehören die zahlreichen Beobachtungen über die Mineralbildung in Schmelzmassen, durch welche die Entstehung der die Eruptivgesteine zusammensetzenden Minerale aufgeklärt wird, die Erforschung der Entstehungsbedingungen aller jener Minerale, welche die Salz-

lagerstätten zusammensetzen, endlich die Versuche, welche die bei der Umwandlung der Minerale Einfluß nehmenden Umstände ermitteln und solche Vorgänge nachahmen.

Literatur. C. W. C. Fuchs, Die künstlich dargestellten Mineralien. Preisschrift, Harlem, 1872. Fouqué und Lévy, Synthèse des minéraux et des roches, Paris, 1882. Bourgeois, Reproduction artificielle des minéraux, Paris, 1884. Doelter, Allgem. chemische Mineralogie, S. 105. Handbuch der Chemie der Minerale. Meunier, Les méthodes de synthèse en Minéralogie, Paris, 1891. Brauns, Chemische Mineralogie, S. 227. Baur, Zeitschr. f. anorg. Chemie, 1911. Königsberger und Müller, Zentralbl. f. Min., 1906, S. 353.

189. In neuerer Zeit sind Versuche mit Schmelzen mit großem Erfolg ausgedehnt worden und haben zu wichtigen Ergebnissen geführt, die für die Bildungsweise der Minerale in den Ergußgesteinen manche Aufklärung gebracht haben. Allerdings ist dieser Zweig der Forschung erst am Anfang seiner Entwicklung und vermag vorerst nur die einfacheren Fälle befriedigend aufzuklären.

Bedeutungsvoll ist insbesondere die alte Erkenntnis geworden, daß gemischte Schmelzen einen niedrigeren Erstarrungspunkt haben als die der einfachen Verbindungen. Mischt man zu einem Stoff *A* kleine Mengen eines zweiten *B*, so wird der Schmelzpunkt von *A* herabgesetzt, geradeso wie der Gefrierpunkt des Wassers erniedrigt wird, wenn man ein Salz darin auflöst. Ebenso wird der Schmelzpunkt von *B* durch einen Zusatz von *A* herabgesetzt. Trägt man auf einer horizontalen Linie das Mengenverhältnis der Stoffe *A* und *B* auf, als Ordinate die Erstarrungstemperaturen, so erhält man eine Darstellung wie Fig. 508.



Mengenverhältnis das eutektische Verhältnis oder das Eutektikum von *A* und *B*.

Diese Verhältnisse sind von Bedeutung für die Erscheinungen bei der Erstarrung. Kühlt sich eine Schmelze, deren Zusammensetzung und Temperatur durch den Punkt *P* des Diagramms gegeben ist, ab, so beobachtet man, trotzdem der Schmelzpunkt der reinen Verbindungen *A* und *B* unterschritten ist, keine Krystallisation, bis die Temperatur *S* erreicht ist. Nun beginnt *A* auszukristallisieren; dadurch ändert sich die Zusammensetzung des Schmelzrestes, dessen Gehalt an *B* relativ zunimmt; zugleich sinkt die Temperatur, so daß der Zustand der Schmelze durch die Punkte der Linie *S—E* dargestellt wird; während dieser ganzen Zeit wird *A* ausgeschieden, endlich, wenn die Schmelze bis *E* abgekühlt ist und die Zusammensetzung des Eutektikums erreicht ist, erstarrt der Rest bei konstanter Temperatur, indem sich *A* und *B* gleichzeitig ausscheiden. Die gemischte Schmelze *P* hat somit keinen Erstarrungspunkt, sondern ein Erstarrungs-

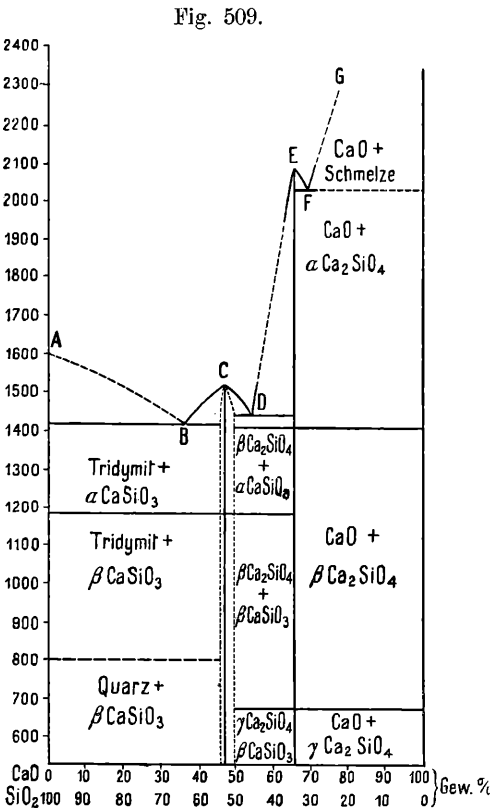
intervall. Zum Schluß hat man Krystalle von *A* eingebettet in das eutektische Gemenge *AB*. Liegt die Zusammensetzung der Schmelze ursprünglich zwischen *E* und *B*, so vollzieht sich die Erstarrung ähnlich, nur erhält man jetzt Krystalle *B* in dem Eutektikum *AB*. Nur die Schmelze, deren Mischung gerade *E* entspricht, erstarrt bei der bestimmten Temperatur *E*, als ob sie eine einfache Substanz wäre. Häufig zeigt das Eutektikum eine an Schriftgranit erinnernde Durchdringung der Bestandteile. (Vergl. Feldspat im speziellen Teile des Buches.)

Bei vielen Metallen, Metallegierungen, Salzgemischen läßt sich dieser Vorgang mit großer Schärfe verfolgen. Bei Silikaten kommen Störungen vor, indem bei der Abkühlung die Erstarrungskurve unterschritten wird, ohne daß sofort Krystallisation einsetzt. Es tritt Unterkühlung ein. Namentlich zähe Schmelzen neigen dazu.

Weitere Komplikationen entstehen dadurch, daß neben den einfachen Komponenten eine oder mehrere bestimmte Verbindungen bestehen, die dann ihre bestimmten Schmelzpunkte besitzen. Zwischen der Verbindung und jeder Komponente gibt es dann wieder ein Eutektikum. Noch weitere Komplikationen werden herbeigeführt, wenn im Laufe der Abkühlung eine oder die andere der Substanzen

enantiotrope Modifikationen bildet, ferner wenn die Substanzen miteinander in festen Lösungen zu krystallisieren vermögen. Derartige Erscheinungen zeigt das System CaO und SiO₂, dessen Verhalten nach dem eingehenden Studium durch Day und Genossen in der Fig. 509 dargestellt wird.

Das Diagramm zeigt zunächst bei *A* (1600° etwa) den Erstarrungspunkt von reinem Kieselglas. Dabei entsteht Tridymit, ein Vorgang, der aber infolge von Unterkühlung häufig ausbleibt. Bei 800° ungefähr ist Tridymit unbeständig gegen Quarz; jedoch unterbleibt diese Umwandlung infolge der Trägheit von SiO₂ gleichfalls häufig. 1512° C ist der Erstarrungspunkt der Verbindung CaSiO₃. Aus der Schmelze krystallisiert Pseudowollastonit oder α-CaSiO₃ in hexagonalen optisch positiven Kryställchen, welche bei 1180° in eine heteromorphe Modifikation umgewandelt werden, welche mit dem monoklinen Mineral Wollastonit identisch ist (β-CaSiO₃). Zwischen Tridymit und Pseudowollastonit liegt ein Eutektikum



(37% CaO und 63% SiO₂ enthaltend) mit dem eutektischen Schmelzpunkt 1420°. Bemerkenswert ist, daß CaSiO₃ aus SiO₂ reicher Schmelze krystallisierend etwas

SiO_2 in fester Lösung aufzunehmen vermag; dies wird durch die punktierte Linie links von C angedeutet.

E ist der sehr hoch (bei 2082°) liegende Schmelzpunkt der Verbindung Ca_2SiO_4 , die als Mineral nicht bekannt ist.

Bei dem Gehalt von 59% CaO und 41% SiO_2 liegt das Eutektikum von CaSiO_3 und Ca_2SiO_4 , dessen Eutekttemperatur bei 1430° gelegen ist. (D) Aus einer solchen Schmelze krystallisiert CaSiO_3 mit einem kleinen Überschuß von CaO , was durch Aufnahme von Ca_2SiO_4 in fester Lösung erklärt wird.

Die Verbindung Ca_2SiO_4 erleidet im Laufe der Abkühlung zweimal Umwandlungen: Aus der Schmelze krystallisiert zunächst $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ in monoklinen Krystallen von der Dichte 3.27. Bei 1410° wandeln sich diese in $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ um, rhombische Krystalle von der Dichte 3.28. Bei 675° erfolgt eine zweite Umwandlung in $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, die mit einer starken Volumvermehrung verbunden ist (Dichte 2.974). Das Produkt „zerrieselt“. Diese Modifikation krystallisiert monoklin.

Der Schmelzpunkt von CaO liegt so hoch, daß seine Bestimmung unmöglich war. Aber zwischen Ca_2SiO_4 und CaO liegt noch ein Eutektikum knapp bei Ca_2SiO_4 (F im Diagramm).

Sind drei Komponenten vorhanden, so lassen sich die Mengenverhältnisse durch die Punkte eines Dreiecks darstellen (Fig. 510). Sind die drei Komponenten ABC , so entsprechen die Seiten den zweifachen Mischungen AB , BC , CA . Ein Punkt innerhalb des Dreiecks P entspricht einer Mischung der drei Komponenten, und zwar sind die Mengenverhältnisse der drei Komponenten ABC

Fig. 510.

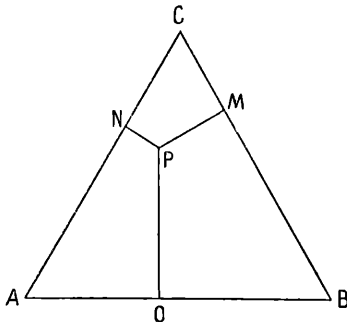
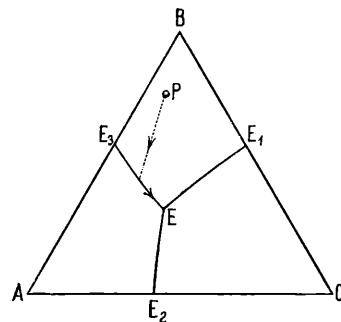


Fig. 511.



proportional den Abständen des Punktes von den Seiten BC , AC und AB . Die Summe dieser drei Abstände ist konstant und gleich der Höhe des gleichseitigen Dreiecks. Denkt man sich nun über den Seiten AB , BC , CA vertikale Ebenen errichtet und in diesen die Schmelzkurven und Eutektika eingetragen, so liefert das ein Bild für das Verhalten der drei zweifachen Mischungen. An die Schmelzpunkte der 3 Eutektika E_1 E_2 E_3 schließen sich nun weitere Schmelzkurven an, die gegen das Innere des dreiseitigen Prismas absteigen und sich in einem Punkt vereinigen, welcher der Zusammensetzung des dreifachen Eutektikums E entspricht.

Fig. 511 zeigt die Projektion des räumlichen Modells auf die Basisfläche. Geht man von einer gegebenen Schmelze aus, deren Zusammensetzung durch den

Punkt P dargestellt wird, so vermag man aus dem Modell die Krystallisationsfolge abzulesen. Sobald bei der Abkühlung die der Zusammensetzung P entsprechende Erstarrungsfläche erreicht ist (Temperatur P in Fig. 512), wird die Krystallisation mit der Ausscheidung von B beginnen. Diese hat zur Folge, daß die übrigbleibende Schmelze an B abnimmt, also der sie darstellende Punkt sich in der geraden Richtung BP von P weg verschiebt. Sobald auf diesem Wege die Schmelze die Linie E_3-E erreicht hat, beginnt neben B auch A sich abzusecheiden, und zwar in solchem Mengenverhältnis, daß die Zusammensetzung der Schmelze sich entsprechend dieser Linie ändert und die Menge an C relativ zunimmt; dabei sinkt weiter die Temperatur, bis die Temperatur und gleichzeitig die Zusammensetzung des dreifachen Eutektikums E erreicht ist. Nun krystallisiert bei konstanter Temperatur gleichzeitig das eutektische Gemenge ABC , bis alles erstarrt ist. Dieses Schema kann sich nun weiter in mannigfaltiger Weise verändern, wenn sich zwischen die Komponenten Verbindungen oder isomorphe Mischungsreihen einschalten.

Ein wichtiges allgemeines Ergebnis dieser theoretischen und experimentellen Untersuchungen ist noch, daß bei der Krystallisation von gemischten Schmelzen die Zahl der sich bildenden Krystallarten (Phasen) durch die Zahl der Komponenten beschränkt ist; diese Zahl kann in dem Falle, als ein wirkliches chemisches Gleichgewicht erreicht wird, höchstens die Zahl der Komponenten erreichen, kann aber auch kleiner sein.

Jedoch wird in der Natur dieser ideale Zustand des vollkommenen Gleichgewichtes häufig nicht erreicht. Dann ist die Zahl der Krystallarten größer, aber gewisse Krystallarten lassen dann Spuren von Korrosion, von Wiederauflösung, von Umwandlung erkennen.

Fig. 512.

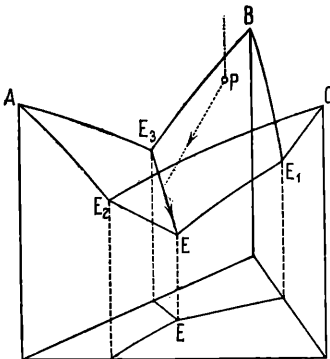
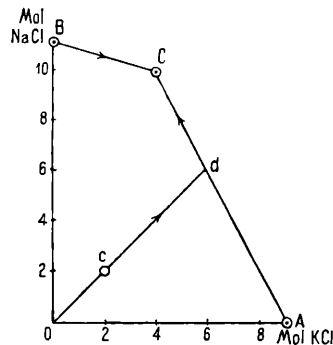


Fig. 513.



190. Die Bildungsverhältnisse von Mineralen aus wässrigen Lösungen sind in letzter Zeit durch die Untersuchungen von Van't Hoff und seinen Schülern namentlich im Hinblick auf die Bildung der Minerale der Salzlagerstätten eingehend studiert und im wesentlichen aufgeklärt worden.

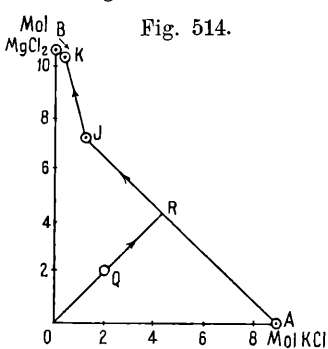
Ausführlicher sollen diese Verhältnisse im speziellen Teil dieses Buches bei Besprechung der Minerale der Salzlagerstätten erörtert werden. Einige wichtige einfachere Fälle werden hier behandelt, um eine allgemeine Vorstellung dieser

Vorgänge zu geben. Zunächst betrachten wir eine gemischte Lösung von Chlor-natrium (Steinsalz NaCl) und Chlorkalium (Sylvin KCl). Die Löslichkeit beider Salze in Wasser ist bekannt; 1000 Mol. H_2O vermögen aufzulösen 111 Mol. NaCl oder 88 Mol. KCl .

Eine mit beiden Salzen gesättigte Lösung, die man erhält, indem eine abgemessene Menge Wasser mit einem Überschuß beider Salze in Berührung gebracht und so lange gerührt wird, bis sich die Zusammensetzung der Lösung nicht mehr ändert, enthält auf 1000 Mol. H_2O 89 Mol. NaCl und 39 Mol. KCl .

Trägt man (Fig. 513) in der Ebene auf der Vertikalaxe den Gehalt an NaCl nach oben, auf der Horizontalaxe den Gehalt an KCl nach rechts auf, so entspricht der Koordinatenursprung O reinem Wasser, B der Sättigung einer reinen NaCl -Lösung, A der Sättigung einer reinen KCl -Lösung. Die an beiden Salzen gesättigte Lösung wird durch den Punkt C dargestellt. Das Feld $OACB$ entspricht ungesättigten Lösungen, der Linienzug*) ACB der Sättigungskonzentration, das Feld außerhalb ACB würde übersättigte Lösungen darstellen.

Eine ungesättigte Lösung, welche etwa 20 Mol. NaCl und 20 Mol. KCl enthält, wird durch den Punkt c dargestellt. Durch Verdunsten des Lösungsmittels bei konstanter Temperatur (es wird Zimmertemperatur 25°C angenommen) steigt die Konzentration ohne Änderung des Verhältnisses $\text{NaCl} : \text{KCl}$. Der den Zustand der Lösung darstellende „figurative“ Punkt bewegt sich geradlinig in der Richtung Oc von O weg. Erreicht die Konzentration den Punkt d an der Linie AC , so beginnt die Krystallisation von Chlorkalium. Bei weiterem Verdunsten nimmt dementsprechend die Konzentration an NaCl noch zu, die an KCl ab. Der Zustand der Lösung ändert sich entsprechend der Linie dC unter fortwährender Ausscheidung von KCl , bis der Punkt C erreicht ist.



Nun beginnt neben KCl auch NaCl zu krystallisieren, und zwar in jenem Mengenverhältnis, welches der Konzentration der Lösung entspricht, so daß von jetzt an die Konzentration der Lösung sich nicht mehr ändert (Ähnlichkeit mit dem Eutektikum [189]).

Verdunstet eine Lösung, die mehr NaCl neben KCl enthält, als C entspricht, so scheidet sich, nachdem die Linie BC erreicht ist, NaCl aus; die Zusammensetzung der Lösung ändert sich, wie der Pfeil andeutet, und zum Schluß hat die Lösung wieder die Zusammensetzung C und es krystallisiert das Gemenge von KCl und NaCl aus. C ist der Krystallisationsendpunkt für die gemischte Lösung, der schließlich von jeder gemischten Lösung erreicht wird.

Komplizierter werden die Vorgänge, wenn die beiden reinen Stoffe ein Doppelsalz bilden. Dies tritt beispielsweise ein bei dem Salzpaar Sylvin (KCl) und

*) Die Linien erscheinen hier und in der Folge geradlinig, in Wirklichkeit sind es wohl immer wenig geschweifte Kurven. Der Verlauf dieser Kurven wurde aber nur in wenigen Fällen genau bestimmt.

Bischoffit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Diese beiden Salze vereinigen sich zu einem Doppelsalz Carnallit ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Fig. 514 zeigt das entsprechende Schema. Auf der Vertikalaxe wird der Gehalt an Mol. MgCl_2 in 1000 Mol. H_2O aufgetragen, auf der horizontalen Axe der Gehalt an Molekeln KCl . Die Löslichkeiten der einfachen Verbindungen sind:

Chlorkalium in 1000 Mol. H_2O	88 Mol. KCl	<i>A</i>
Chlormagnesium in 1000 Mol. H_2O	108 Mol. MgCl_2	<i>B</i>

J entspricht einer Lösung, welche gleichzeitig mit Sylvin und Carnallit gesättigt ist; *K* gleichzeitiger Sättigung mit Bischoffit und Carnallit. Die betreffenden Lösungen enthalten:

<i>J</i> in 1000 Mol. H_2O	11 KCl und 72,5 MgCl_2
<i>K</i> in 1000 Mol. H_2O	2 KCl und 105 MgCl_2

Was dieses Schema zu bedeuten hat, wird am deutlichsten, wenn man von einer verdünnten Lösung ausgeht und die Vorgänge bei allmählichem Verdunsten des Lösungsmittels verfolgt.

Der Punkt *Q* entspricht einer verdünnten Lösung von Carnallit, welche gleich viele Molekel MgCl_2 und KCl enthält. Wird diese Lösung eingeengt, so verändert sich das Verhältnis der gelösten Salze, nicht bis der Punkt *R* auf der Linie *AJ* erreicht ist. Nun beginnt Sylvin auszukristallisieren und die Konzentration an KCl nimmt ab, die von MgCl_2 nimmt zu, bis der Punkt *J* erreicht ist. Nun scheidet sich neben KCl auch Carnallit ab $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Hier kann nun zweierlei eintreten: Entfernt man die festen Ausscheidungen aus der Lösung, so ändert sich durch die Krystallisation des Doppelsalzes die Zusammensetzung der Lösung so, daß die MgCl_2 -Konzentration noch immerfort wächst, bis die durch *K* angedeutete Konzentration erreicht ist; nun krystallisiert neben Carnallit gleichzeitig reines Magnesiumchlorid $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Bischoffit, bei gleichbleibender Konzentration der Lösung. *K* ist der Krystallisationsendpunkt. Dasselbe tritt auch ein, wenn die zuerst ausgeschiedenen Krystalle von KCl so vom Carnallit überkrustet sind, daß sie mit der Lösung nicht in Wechselwirkung treten können.

Bleibt dagegen das zuerst ausgeschiedene KCl in Berührung mit der Lösung, die nun an MgCl_2 reich ist, so werden diese Krystalle aufgezehrt unter Bildung von Carnallit. Die Lösung behält dann die Konzentration *J* bei, bis aller Sylvin in Carnallit verwandelt ist, und man erhält als Resultat zum Schluß den ursprünglich bei *Q* aufgelösten Carnallit völlig zurück.

Geht man aus von einer Lösung, die noch reicher ist an MgCl_2 als *K*, so würde sich nach Erreichung der Linie *BK* Bischoffit ausscheiden, dadurch die Konzentration an KCl zunehmen und der Krystallisationsendpunkt *K* (gleichzeitige Ausscheidung von Carnallit und Bischoffit) von der anderen Seite erreicht werden.

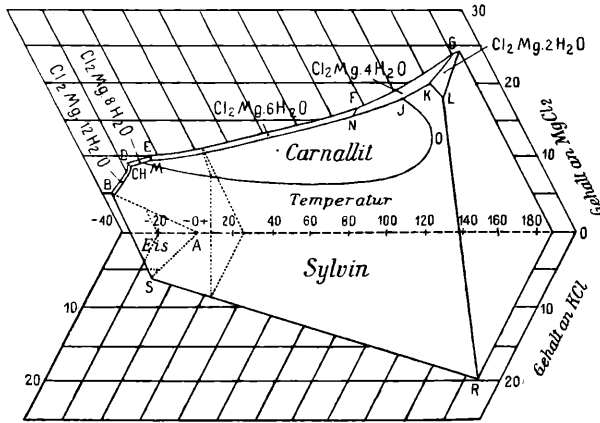
Aus diesen Daten ergibt sich, daß Carnallit nur in einer Lösung mit einem Überschuß von MgCl_2 (einer inkongruenten Lösung) sich bilden kann. In Berührung mit Wasser ist Carnallit unbeständig und zerfällt unter Bildung von Sylvin, KCl .

Die Lage der Sättigungspunkte ändert sich mit der Temperatur. Indem man die Temperatur auf einer in *O* senkrecht auf *OAB* errichteten Axe aufträgt und

die Linienzüge für verschiedene Temperaturen bestimmt, erhält man ein körperliches Modell, welches das Verhalten der gemischten Lösungen einerseits bis zum Gefrierpunkt, andererseits bis zur Kochgrenze zur Darstellung bringt.

Fig. 515 zeigt eine perspektivische Zeichnung eines solchen räumlichen Modells, welches u. a. erkennen läßt, daß, je nach der Temperatur, sich das Chlormagnesium mit verschiedenem Wassergehalt ausscheidet, daß ferner Carnallit unter -21° und oberhalb 167° nicht existieren kann und sich in seine Bestandteile zerlegt.

Fig. 515.



Erläuterung zu Fig. 515.

Löslichkeitskurve von Chlorkalium (Sylvin)				
Temperaturgrade	Wasser, Mol.	K Cl, Mol.	Sättigung an:	
A 0	100	0	Eis (Gefrierpunkt).	
S - 11.1	100	5.94	Eis und Sylvin (kryohydratischer Punkt).	
R + 186	100	19.56	Sylvin.	

Löslichkeitskurve von Magnesiumchlorid				
Temperaturgrade	Wasser, Mol.	Mg Cl ₂ , Mol.	Sättigung an:	
A 0	100	0	Eis (Gefrierpunkt).	
B - 33.6	100	4.94	Eis und Mg Cl ₂ · 12 H ₂ O, kryohydratischer Punkt.	
C - 16.3	100	8.33	Mg Cl ₂ · 12 H ₂ O.	
D - 16.7	100	8.95	Mg Cl ₂ · 12 H ₂ O und Mg Cl ₂ · 8 H ₂ O.	
E - 3.4	100	10.00	Mg Cl ₂ · 8 H ₂ O und Mg Cl ₂ · 6 H ₂ O.	
F + 116.7	100	16.2	Mg Cl ₂ · 6 H ₂ O und Mg Cl ₂ · 4 H ₂ O.	
G + 181.5	100	23.8	Mg Cl ₂ · 4 H ₂ O und Mg Cl ₂ · 2 H ₂ O.	

Umgrenzung des Carnallitfeldes				
Temperaturgrade	Wasser	Mg Cl ₂	K Cl	Sättigung an:
H - 12.0	100	9.37	minimal	Carnallit, Mg Cl ₂ · 8 H ₂ O, K Cl.
M - 3.4	100	10.0	minimal	Carnallit, Mg Cl ₂ · 8 H ₂ O, Mg Cl ₂ · 6 H ₂ O.
N 115.7	100	16.2	0.2	Carnallit, Mg Cl ₂ · 6 H ₂ O, Mg Cl ₂ · 4 H ₂ O.
I 152.5	100	20.0	2.4	Carnallit, Mg Cl ₂ · 4 H ₂ O, K Cl.
O 167.5	100	16.7	4.17	Carnallit zerlegt sich in Lösung und Sylvin.

Die punktierten Linien bei $+25^{\circ}$ geben die in Fig. 514 dargestellte Kurve wieder. In der Region D B ist die Löslichkeit des Chlorkaliums in einer mit MgCl₂ gesättigten Lösung verschwindend klein. J. H. van't Hoff, Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen, Leipzig 1912.

IV. Lagerungslehre (Topik der Minerale).

191. Das Auftreten der Minerale. Zur Kenntnis jedes Mineralen gehört auch das Wissen von der Art seines Auftretens in der Natur, daher fragen wir, sobald uns die Eigenschaften und die Zusammensetzung des Mineralen bekannt sind, auch nach der Örtlichkeit, in welcher, nach den Mengenverhältnissen, in welchen dasselbe vorkommt, und nach der Verbindung, in welcher es mit anderen Mineralen steht.

Was daher zunächst in Betracht kommt, sind die räumlichen Verhältnisse der Minerale, die Art und Menge, in welcher dieselben miteinander auftreten, die Formen, welche durch einzelne Minerale und Mineralgesellschaften im großen gebildet werden, und das Verhalten, welches diese Mineralmassen in der Erdrinde zeigen.

Die Mengenverhältnisse sind sehr verschieden. Während ein Mineral, wie der Kalkspat, in der Form von Kalkstein, viele Meilen weit allein herrscht, kommen andere Minerale, wie das Zinnerz, in mäßigen Quantitäten vor und wieder andere finden sich nur in Spuren, wie der Arsenit, Greenockit.

Die Verbindung, in welcher die Minerale stehen, ist bisweilen eine zufällige, z. B. dann, wenn Geschiebe von Quarz und solche von Kalkstein in einem Konglomerate nebeneinanderliegen; häufig ist aber das Zusammenvorkommen ein gesetzmäßiges, z. B. in dem Falle, als auf dem im Wasser fast unlöslichen Quarz der leichter lösliche Baryt aufsitzt, oder wenn eine Masse von Olivin von dem aus Olivin entstandenen Serpentin umhüllt wird.

192. Verbreitung. Als Grade der Verbreitung kann man die allgemeine und starke Verbreitung, ferner die beschränkte und die spärliche Verbreitung angeben, für jeden Grad aber mancherlei Arten der Verbreitung unterscheiden.

Unter den allgemein verbreiteten Mineralen versteht man solche, welche in der Erdrinde, wenngleich nicht immer an der Oberfläche, so häufig sind, daß gar kein bedeutender Teil der Erdrinde davon frei ist. Hieher gehört vor allem der Quarz, die häufigste Mineralgattung, welche sowohl auf primärer als auf sekundärer Stätte vorkommt, öfter allein herrscht, meistens in Gesellschaft anderer Minerale auftritt, oft dem freien Auge sichtbar, oft sich ganz verbergend. In zweiter Reihe sind die Minerale der Feldspatgruppe zu nennen, welche ähnlich wie der Quarz verbreitet sind und in den tonigen Ablagerungen sich gleichfalls verbergen. Beiden zunächst steht der Kalkspat, welcher zwar keine so extensive Verbreitung hat, jedoch für sich allein als Kalkstein mächtige und ausgedehnte Gebirge bildet, also durch intensives Auftreten die vorigen übertrifft.

Eine sehr extensive Verbreitung haben manche Minerale, welche in feiner Verteilung auftreten, wie der Apatit, der selten in großer Menge zu finden ist, dagegen aber in mikroskopischen Kryställchen und Partikelchen allenthalben im Gestein angetroffen wird. Ebenso genießen die als Pigmente vorkommenden Eisenerze, welche die Gesteine rot färben (Roteisenerz), braun oder gelb (Brauneisenerz) oder schwarz färben (Magneteisenerz), eine sehr große Verbreitung; auch Kohle und Pyrit sind in solcher Verteilung häufig. Zu den stark verbreiteten Mineralen gehören die Glimmer und Chlorite, die Augite und Hornblenden.

Die beschränkte Verbreitung rührt nicht bloß von der größeren Seltenheit der enthaltenen Stoffe her, sondern beruht öfter auf der Abhängigkeit eines Mineralen von der Existenz eines anderen. So z. B. ist der meiste Zinkspat durch die frühere Gegenwart von Kalkspat bedingt. Ebenso erscheinen die Zeolithe abhängig von bestimmten Mineralen, daher die meisten derselben bloß in vulkanischem Gestein vorkommen. Öfter zeigt sich eine Abhängigkeit von bestimmten Lagerungsformen, wie bei den später zu besprechenden Gangmineralen. Das Vorkommen des leicht löslichen Natriumsalpeters in der regenlosen Zone von Peru erscheint sogar von einem niederschlagarmen Klima abhängig und manche Verwitterungsprodukte, wie z. B. der aus Hydroxyden von Eisen und Aluminium bestehende Laterit, sind auf Regionen mit tropischem Klima beschränkt. Endlich sind manche Minerale von der Erdoberfläche ausgeschlossen, weil sie daselbst vollständig verändert würden, wie z. B. die Sulfide.

Jene Minerale, welche nur spärlich verbreitet sind, kommen entweder nur an einem Punkte oder an wenigen Punkten der Erde vor, dort aber mitunter in erheblicher Menge, wie der Kryolith in Grönland, oder sie sind Seltenheiten in jeder Beziehung, weil sie auch an den wenigen Punkten bloß in sehr geringer Menge vorkommen, z. B. der Euklas.

193. Paragenesis. Das Auftreten der Minerale nebeneinander läßt erkennen, ob dieselben gleichzeitig oder ungleichzeitig, ferner in welcher Folge sie entstanden sind, oft auch, daß eines aus dem anderen hervorgegangen sei. Das Zusammenvorkommen drückt also zugleich das Nebeneinander- oder Nacheinanderentstehen, zuweilen auch die Abstammung aus, daher die von Breithaupt eingeführte Bezeichnung Paragenesis glücklich gewählt erscheint.

Die gleichzeitige Bildung verschiedener Minerale läßt sich sowohl an schwebend als an sitzend gebildeten Individuen entweder daran erkennen, daß jedes Mineral in den Individuen des anderen Einschlüsse bildet, oder daran, daß bald die Individuen der einen Art auf jenen der anderen lagern und Eindrücke von diesen zeigen, bald aber die Individuen der anderen Art Auflagerung und Eindrücke darbieten. So gibt es Drusen mit gleichzeitiger Paragenesis von Adular und Kalkspat oder Gesteine, in welchen schwebend gebildete Krystalle von Plagioklas und Augit in ebensolcher Paragenesis vorkommen.

In den körnigen und schiefrigen Gemengen ist die Gleichzeitigkeit auch öfter deutlich ausgesprochen, wie z. B. in vielem Granit, in dem die Körner von Feldspat, Quarz und Glimmer so ausgebildet sind, daß kein Unterschied wahrzunehmen ist, indem alles wie aus einem Guß hervorgegangen erscheint.

Die nebeneinander gebildeten Minerale weisen öfter durch ihre chemische Beschaffenheit auf die gleichartige Entstehung hin, wie z. B. die Krystalle von Apatit, Fluorit, Lepidolith, Topas, Turmalin, welche auf Zinnerzgängen miteinander vorkommen und durchwegs fluorhaltige Minerale sind, oder die Verwachsungen von Blende und Bleiglanz, welche häufig vorkommen, oder endlich die Paragenesis von Eisenkies FeS_2 mit Antimonglanz Sb_2S_3 , dunklem Rotgiltigerz Ag_3SbS_3 und Silberglanz Ag_2S auf Stufen von Kremnitz. Sämtliche Glieder dieser Gesellschaft sind schwefelhaltig, sie sind meist Sulfide, auch ein Sulfosalz befindet sich darunter.

194. Sukzession. Wenn Krystalle auf einer Unterlage eine Druse bilden oder wenn eine Druse von anderen Krystallen bedeckt wird, welche von den früheren Eindrücke erhalten, oder wenn irgendwelche Minerale von Krusten überzogen werden, so ist die Sukzession eine deutliche. Ebenso, wenn in großem Maßstabe wiederholte Krusten auftreten oder ganze Schichten von Mineralen oder Mineralgemengen übereinanderlagern. Selbstverständlich ist die auflagernde Kruste oder Schichte immer die jüngere Bildung.

Wenn ein Mineral oder Gemenge von einer anderen Masse rings umschlossen wird, ist die Bildungsfolge von verschiedener Art. Die schwebend gebildeten Krystalle von Eisenkies im Ton, die Krystallgruppen von Gyps im Ton und Mergel, ebenso die Konkretionen [66] sind entstanden, als die umgebende Masse noch etwas nachgiebig war. Die Ausfüllungen von Spalten und Hohlräumen, wie die im Gestein enthaltenen Adern und Gänge oder wie die in Melaphyren vorkommenden Achate, haben sich später gebildet als die Umgebung. Die in porphyrischen Gesteinmassen vorkommenden, vollständig ausgebildeten Krystalle von Quarz oder von Feldspat, Leucit, Augit bildeten sich in der Masse, als dieselbe noch beweglich und nicht krystallinisch war. Hier sind die größeren und eingeschlossenen Krystalle älter, die kleinen, welche die Grundmasse zusammensetzen, jünger. Wenn ein starres Mineral oder Gemenge zufällig in eine bewegliche Masse, z. B. in eine Lava, gerät, so zeigt sich nach dem Festwerden ein fremder Einschluß. Auch hier ist der Einschluß älter, die Umgebung aber von jüngerer Bildung.

Die Sukzession ist häufig durch die Löslichkeit und die chemischen Verhältnisse bedingt. In vielen Spalten und Hohlräumen sind die Wände mit Quarzdrusen bedeckt, worauf wiederum Krusten von Kalkspat liegen. Der Quarz, als das im Wasser viel schwerer lösliche Mineral, muß sich zuerst absetzen. In Salzablagerungen erscheint Gyps gewöhnlich als ältere, Steinsalz als jüngere Bildung, weil der Gyps die schwerer lösliche Substanz ist. Manche der hiehergehörigen Erscheinungen werden durch die Pseudomorphosen dargeboten. Ist eine Pseudomorphose unvollendet, so besteht sie zum Teil aus dem ursprünglichen Mineral, zum Teil aus der Neubildung. Hier ist also ein älteres und ein jüngerer Mineral durch die eingetretene chemische Veränderung verknüpft. Wenn eine solche Aufeinanderfolge durch viele Beobachtungen als gesetzmäßig erkannt ist, so bestimmt man schließlich die Altersfolge auch ohne Pseudomorphosenbildung. Ist eine Pseudomorphose vollendet, so gibt dieselbe auch eine gesetzmäßige Bildungsfolge an, obgleich das ursprüngliche Mineral am selben Orte nicht mehr vorhanden ist.

Lit. Breithaupt, Die Paragenesis der Mineralien, Freiberg, 1849. Ferner die später anzuführenden Werke über Erzlagerstätten und die Lehrbücher der Petrographie. J. Koenigsberger, Paragenesis der natürlichen Kieselsäuremineralien in Doelter, Handbuch der Mineralchemie II, Seite 25.

195. Vorkommen. Je nach der Umgebung unterscheidet man verschiedene Arten des Vorkommens der Minerale, und zwar zuerst das Vorkommen im Gestein, auf einer Lagerstätte und in wässriger Lösung. In Gesteinen und Lagerstätten wird ferner noch das Vorkommen in Mineralgängen, Hohlräumen und Trümmern sowie auch in Kontaktzonen unterschieden.

Die starren Minerale und Gemenge finden sich entweder auf der ursprünglichen primären Stätte, also an dem Orte, wo sie die gegenwärtige Form angenommen haben, oder sie kommen auf sekundärer Stätte vor, also an einem anderen Orte als dem ihrer ursprünglichen Entstehung. Auf der ursprünglichen Stätte erscheinen die Minerale und Gemenge zumeist als krystallinische Bildungen.

Die Übertragung auf eine neue Stätte kann erst erfolgen, wenn die ursprüngliche Masse zerkleinert, in eckige Trümmer, in Rollstücke, Sandkörner oder auch in einzelne Krystalle, schließlich in Pulver aufgelöst worden ist. Zuweilen findet sich eine Mineralmasse oder ein Gemenge schon auf der ursprünglichen Stätte im Zustande der Zerteilung, z. B. zerklüfteter Kalkstein, Quarzit, Serpentin oder auch erdig aussehend, wie der verwitterte Granit oder Basalt.

Auf der sekundären Stätte, also nach dem Transporte, erscheinen die Massen entweder lose, als Anhäufungen eckiger Bruchstücke, Gerölle, als Sand oder erdig als Ton, oder sie erscheinen wieder zu festen Massen verkittet, als Breccien (Verbindungen eckiger Bruchstücke), als Konglomerate (Vereinigungen von Geröllen und Geschieben), als Sandstein, Schiefer etc. Diese regenerierten festen Massen sind bisweilen von den ursprünglichen schwer zu unterscheiden, z. B. manche Quarzite. Sowohl die losen als auch die regenerierten Ablagerungen werden als klastische Gebilde bezeichnet.

196. Gesteine und Lagerstätten. Wenn ein einziges Mineral oder ein Mineralgemenge in so großen Massen auftritt, daß es Berge darstellt, auf große Strecken hin den Boden zusammensetzt oder doch einen bedeutenden Teil des Gebirges, des Bodens bildet, so wird es ein Gestein, eine Felsart oder Gebirgsart genannt. Beispiele sind der Kalkstein, welcher aus einem einzigen Mineral besteht, der Granit, der Basalt, welche mehrere Minerale enthalten. Auch solche Mineralgemenge, die in geringerer Menge auftreten, aber durch die Paragenesis und durch ihre Abgrenzung von ihrer Umgebung den vorigen gleichkommen, werden als Felsarten betrachtet. Die Gesteine wiederholen sich mit demselben Charakter, sie kehren an mehreren oder an vielen Punkten der Erdrinde wieder, sie haben also nicht ein lokales, sondern ein allgemeineres Auftreten.

Nach der Struktur unterscheidet man Schichtgesteine, welche aus einer Aufeinanderfolge von ausgedehnten Platten oder Blättern bestehen, und Massengesteine, welche keine Plattung oder Blätterung darbieten und wie aus einem Gusse gebildet erscheinen. Die Massengesteine sind durchwegs Silikatgesteine, die Schichtgesteine umfassen Felsarten von verschiedener Zusammensetzung.

Die Kalksteine und Dolomite, welche auch öfter massig auftreten, hängen mit den Schichtgesteinen zusammen.

Wenn ein Mineral, ein Mineralgemenge oder eine schichtenartige Folge von Mineralen bloß in beschränkter Ausdehnung vorkommt, also nicht gebirgsbildend auftritt, so wird die Masse eine Lagerstätte genannt. Beispiele sind die Lagerstätten von Magneteisenerz, die Salzlager, die Kohlenlager. Manche Lagerstätten sind ganz lokale Bildungen, wie z. B. die Kryolithlagerstätte Grönlands, die augitreiche Erzlagerstätte von Campiglia marittima. Die Lagerstätten sind im allgemeinen

entweder geschichtet (Flötze) oder massig oder sie haben eine andere eigentümliche Struktur.

Zwischen Gestein und Lagerstätte gibt es keinen scharfen Unterschied. Lagerstätten von größerer Ausdehnung werden öfter zu den Felsarten gezählt, wie z. B. die Spateisensteinlager, der Turmalinfels etc. Jene Lagerstätten, welche Verbindungen schwerer Metalle in solcher Menge enthalten, daß eine technische Verwertung Platz greifen kann, werden Erzlagerstätten genannt.

197. Gemengteile. Von den Gesteinen werden diejenigen, welche der Hauptsache nach aus demselben Mineral oder demselben Mineralgemenge bestehen und auch dasselbe Gefüge, sowie denselben Erhaltungszustand zeigen, mit demselben Namen belegt. So nennt man alle Gesteine, welche wesentlich aus Kalkspat bestehen und körnig sind, körnigen Kalkstein, alle massigen Gesteine, welche wesentlich aus Quarz, Orthoklas und Glimmer bestehen und körnige Textur zeigen, Granit; Gesteine hingegen, welche dasselbe Mineralgemenge wie der Granit, jedoch plattige oder schiefrige Textur darbieten, Gneis. Ein körniges Gemenge von Plagioklas und Augit im frischen Zustande wurde Dolerit genannt, das gleiche Gemenge aber, in welchem der Plagioklas oft etwas verändert ist und auch eine Veränderung des Augits durch Bildung von Chlorit eingetreten ist, Diabas. Hier kommt also auch der Erhaltungszustand in Betracht oder, weil die eingetretene Veränderung einem höheren Alter des Gesteines entspricht, beruht der Unterschied auf einem Unterschiede im geologischen Alter.

Diejenigen Minerale, welche ein Gestein hauptsächlich zusammensetzen, welche also vorhanden sein müssen, damit der gewählte Name Geltung habe, werden als Hauptgemengteile oder wesentliche Gemengteile bezeichnet. Außer diesen treten aber in den Gesteinen häufig auch noch Minerale in geringerer Menge auf, welche für die Bezeichnung des Gesteines nicht maßgebend sind. Sie werden als Nebengemengteile, als zufällige oder akzessorische Gemengteile angeführt. Im Granit finden sich z. B. öfter Granat, Andalusit, Turmalin als akzessorische Gemengteile. Bisweilen finden sich die akzessorischen Minerale nicht bloß in einzelnen Körnern oder Krystallen, sondern in größeren Anhäufungen im Gestein. Dieselben werden akzessorische Bestandmassen genannt.

Ein Gemengteil, welcher in einem Gestein wesentlich oder akzessorisch auftritt, kann stellenweise, also an einzelnen Punkten der ganzen Gesteinmasse, stärker hervortreten, endlich die anderen Gemengteile zurückdrängen, so daß ein einziges Mineral herrscht und eine Lagerstätte bildet. So finden sich zuweilen in Granit und Gneis Lagerstätten von Feldspat, im Diabas und Augitporphyr schwillt zuweilen der akzessorische Gemengteil Magnetit zu solcher Menge an, daß er eine Erzlagerstätte bildet. Solche Erscheinungen werden als Scheidung der Gemengteile bezeichnet. Sowohl das Gefüge als auch die Zusammensetzung der Gesteine unterliegen überhaupt manchen Schwankungen. Dementsprechend ist auch die Unterscheidung der Gesteine bisweilen keine scharfe, da sich Übergänge zeigen, wie z. B. Übergänge zwischen Gneis, der aus Feldspat, Quarz und Glimmer besteht, und Glimmerschiefer, in welchem der Feldspat zurücktritt.

198. Lagerungsformen. Ein Gesteinkomplex, der nach seiner ganzen geographischen Verbreitung aus derselben Felsart besteht oder nahe verwandte Felsarten durch allmähliche Übergänge verbunden zeigt, hat nach außen eine bestimmte Begrenzung, erscheint als ein geschlossener Körper, als ein bestimmtes Glied der Erdrinde. Ein solcher Komplex ist als eine durch denselben Bildungsvorgang oder durch mehrere ohne Unterbrechung folgende Vorgänge entstandene Einheit aufzufassen und kann als ein Individuum im großen Maßstabe bezeichnet werden.

Diese Gesteinindividuen haben meistens eine unregelmäßige Begrenzung. Wer eine Karte betrachtet, auf welcher die Ausdehnung der Gesteine an der Erdoberfläche angegeben ist, erhält den Eindruck, daß bei den meisten Gesteinen die horizontale Verbreitung keiner bestimmten Regel gehorcht, daß vollständig regellose, lappige Formen vorherrschen und viel seltener geschlossene elliptische oder kreisähnliche Konturen zu erkennen sind. Die Erstreckung nach der Tiefe hingegen, welche durch natürliche Furchen, durch künstliche Einschnitte und durch den Bergbau erkennbar wird, zeigt öfter, wo eine Grenze sichtbar ist, ein bestimmtes einfaches Verhalten. Die Schichtgesteine haben Formen, welche ihrer Bildung durch Ablagerung entsprechen, also im allgemeinen Gestalten, welche eine Platte von gleichförmiger oder ungleichförmiger Dicke, Ausfüllungen von Mulden u. s. w. darstellen. Eine Platte, die aus vielen Schichten bestehen kann, wird ein Lager genannt. Bei geringerer Erstreckung nimmt sie die Form einer Linse an. Die Lager können, ebenso wie die einzelnen Schichten, entweder flach oder mannigfaltig gebogen und gekrümmt sein.

Die Massengesteine bilden oft größere Massen von unregelmäßiger seitlicher Begrenzung und einer Fortsetzung in unbekannte Tiefen, daher sie wie große, aus der Tiefe hervorragende Blöcke erscheinen. Diese Lagerungsform wird als Stock bezeichnet. Manchmal treten die Massengesteine in der Form von Platten auf, welche, häufig beiläufig vertikal stehend, das Nebengestein durchschneiden, stets den Zusammenhang des benachbarten Gesteines unterbrechen und in unbekannte Tiefen fortsetzen. Diese werden als Gänge, speziell als *Gesteingänge*, bezeichnet. Wenn dieselben zwischen die Schichten des Nebengesteines eindringen, werden sie *Lagergänge* oder *Intrusivlager* genannt. In einzelnen Fällen bilden diese große glockenförmige oder brotlaibförmige Massen, die den Schichtgesteinen eingeschaltet sind: *Lakkolithe*. Die Gänge zeigen deutlich, daß das Gestein, aus welchem sie bestehen, in beweglichem Zustande aus der Tiefe hervorgedrungen ist und sich in die Zwischenräume früher vorhandener Gesteine ergossen hat. Gesteine, welche gangförmig auftreten, erweisen sich demnach als eruptive Bildungen. Derlei Gesteine bilden an der Erdoberfläche nicht selten kegelförmige Massen, welche *Kuppen* genannt werden, oder flache Gebilde, sogenannte *Decken*, die zuweilen die Eigenschaften der Lavaströme zeigen.

Die Lagerstätten, welche mit dem Nebengestein von gleichartiger Bildung sind, haben dieselben Lagerungsformen wie dieses. In den Schichtgesteinen finden sie sich häufig lagerförmig oder linsenförmig, wie z. B. der Siderit zwischen den Schichten von Tonschiefer und Sandstein. In Massengesteinen treten auch

unregelmäßige Lagerstätten auf, wie vorhin bei der Scheidung der Gemengteile bemerkt wurde.

Lit. in C. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, Bd. 3, Leipzig, 1872, sowie in den Lehrbüchern der Geologie, der Petrographie und der Lagerstättenkunde; siehe [202].

199. Spalten und Absonderungen. Die starre Erdrinde ist allenthalben von Rissen und Sprüngen durchzogen, so daß der Zusammenhang der Gesteine bald in augenfälliger, bald in fast unmerklicher Weise aufgehoben erscheint. Die Trennungen sind im ganzen und großen von zweierlei Art. Entweder treten dieselben in größerem Maßstabe auf und erweisen sich unabhängig von der Natur des Gesteines, diese sind Spalten; oder sie erscheinen als Risse in kleinerem Maßstabe, die von der Natur des Gesteines abhängig sind und Absonderungen genannt werden. Die Spalten verlaufen oft an der Grenze zweier verschiedener Gesteine, oder sie erstrecken sich parallel zur Schichtung, oft aber setzen sie quer durch das Gestein und treten ohne Unterbrechung aus einem Gestein ins benachbarte über. Häufig setzen sie in unbekannte Tiefen fort. Die Gesteinmasse ist an den Wänden derselben häufig verschoben, in welchem Falle sie als Verwerfungsspalten oder Dislokationen bezeichnet werden. Die Trennungsfläche ist eben oder fast eben, die Spaltwände sind oft glatt und erscheinen als Rutschflächen (Harnisch). Die Spaltwände ruhen entweder unmittelbar aneinander oder sie sind voneinander getrennt. Der Zwischenraum ist bisweilen durch ein Eruptivgestein erfüllt, welches hier einen Gesteingang bildet, oder die Füllung erfolgt durch zerquetschte und zerriebene Gesteinmasse oder endlich durch ein Mineral oder Mineralgemenge, das nun einen Mineralgang darstellt und bei erheblicher Ausdehnung eine Lagerstätte bildet. Ist diese Ausfüllung eine unvollständige, so wird der übrige Raum von Wasser eingenommen, auch finden sich Spalten, die ganz von Wasser erfüllt sind, welches beim Öffnen der Spalten kontinuierlich ausströmt. Viele Spalten sind demnach Quellenspalten. Im Kalkgebirge erweitern sich die Spalten öfter zu Höhlungen.

Die Absonderungen sind dem Gestein eigentümlich, sie erstrecken sich nur auf geringere Entfernungen und setzen nicht in das Nebengestein fort. In den massigen Gesteinen sieht man bisweilen eine säulenförmige oder auch eine kugelige Absonderung. Gewöhnlich verlaufen in diesen sowie in den sehr dickplattigen Schichtgesteinen die Absonderungen ganz unregelmäßig, so daß derlei Gesteine nach allen möglichen Richtungen von Sprüngen durchzogen sind, folglich an der Erdoberfläche in unförmliche Blöcke zerfallen. Viele Basalte, Trachyte, manche Sandsteine geben große Blöcke, viele Kalksteine liefern unzählige kleine Steine als Gebirgsschutt. Die Absonderungsklüfte erscheinen oft mit Mineralen erfüllt, für welches Vorkommen die Ausdrücke Trümer und Adern üblich sind. Manche Trümer stehen mit Mineralgängen in Verbindung, Fig. 517. Sie werden Gangtrümer genannt. In der Neigung zur Trümerbildung steht der dichte Kalkstein obenan. Oft ist jeder Block eines solchen Gesteins von einem Trümernetz durchzogen, welches aus krystallinischem Kalkspat besteht.

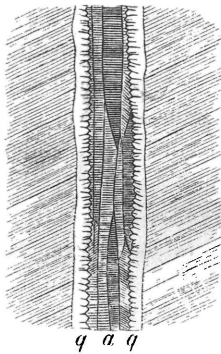
Die Absonderungen, welche nicht durch Mineralansiedlungen geschlossen sind, bieten dem Wasser Gelegenheit zur Kommunikation mit den Quellspalten einerseits, während sie andererseits die Feuchtigkeit bis ins dichte Gestein verbreiten.

Zwischen den Absonderungen und Spalten gibt es alle möglichen Übergänge, daher diese Ausdrücke nur die Extreme andeuten, welche bei den Trennungen der Gesteinmassen vorkommen.

Lit. in Naumann, Geognosie. Zirkel, Lehrb. d. Petrographie, Bd. 1, S. 514. E. de Margerie und A. Heim, Die Dislokationen der Erdrinde, Zürich, 1888. Über Nachahmung der Absonderungserscheinungen durch Druck etc. in Daubrée: Études synthétiques de géologie expérimentale, 1879, S. 300 u. 407.

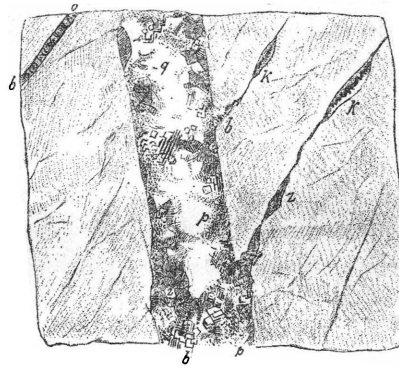
200. Krusten und Füllungen. Die prachtvollen Drusen mit den blinkenden Krystallen, welche unsere Sammlungen zieren, stammen zumeist aus den Spalten, Hohlräumen und Absonderungsklüften der Gesteine. An vielen Orten sind die

Fig. 516.



Symmetrischer Erzgang im Gneis. Michelsberg in Böhmen. *q* Quarz, *a* Antimonit.

Fig. 517.



Unsymmetrischer Erzgang im Tonporphyr bei Freiberg in Sachsen.

b Bleiglanz, *p* Pyrit, *q* Quarz, *z* Zinkblende. Der Gang steht mit Trümmern in Verbindung, welche anfänglich mit diesen Mineralien gefüllt sind, weiterhin aber bei *k* Drusen von Quarz, Calcit, Braunsapat enthalten.

Trennungen der Gesteine wieder geschlossen und ganz mit Mineralen erfüllt, oft aber treten die Wände zurück und bilden erweiterte Räume. Beim Öffnen derselben leuchten dem glücklichen Finder jene herrlichen regelmäßigen Bildungen entgegen, welche die Natur in langen Zeiträumen geformt hat. Der Bergmann verfolgt die Spuren dieser Ausfüllungen meistens nur dann, wenn sie nutzbare Minerale führen, und nennt solche Bildungen Erzgänge oder edle Gänge, sonst sind sie ihm taube Gänge, taube Mittel.

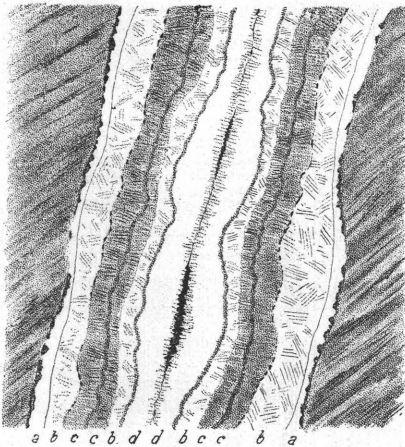
Die Minerale sind in den Mineralgängen und den Hohlräumen häufig so angeordnet, daß sie die Wände überziehen, also Krusten bilden. Die Kruste ist öfter geschichtet, was eine wiederholte Überzugsbildung beweist. Oft sind beide Wände einer Spalte mit gleichen Schichten der gleichen Mineralart bedeckt. Die Krustenbildung ist symmetrisch, wie in Fig. 516, welche den Durchschnitt eines geschlossenen Mineralganges darstellt, auch wiederholte Krustenbildung ist öfter symmetrisch, wie in Fig. 518. Unsymmetrische Bildungen, wie in Fig. 517, sind aber auch recht häufig.

Die Schichte, welche an die Wand grenzt, ist die älteste, jede folgende Schichte aber enthält eine jüngere Generation; die jüngste wird oft von einer Druse gebildet.

Zuweilen kommen in den Mineralgängen Bruchstücke des Nebengesteines vor, welche durch die Füllmasse verkittet werden (Gangbreccien). Wenn derlei Bruchstücke oder aber Stücke des Mineralganges, welche sich beim Wiederaufreißen der Spalte gebildet, mit Krusten überzogen sind und in der Füllmasse eingeschlossen, gleichsam in derselben schwimmend erscheinen, so hat man jene Bildungen, welche von den Bergleuten Ringelerze oder Kokardenerze genannt werden, Fig. 519.

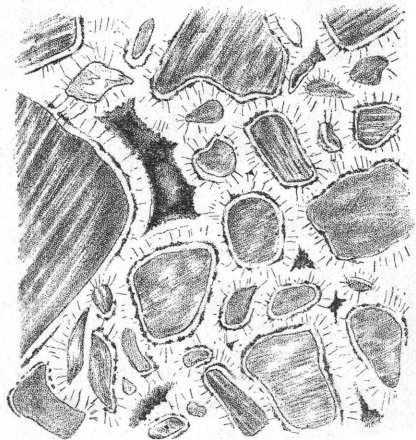
Wenn keine Schichtenbildung zu beobachten ist, erscheinen die Mineralgänge als einfache Füllungen, wie manche Gänge von Quarz oder Bleiglanz, welche krystallinische Platten im Gestein bilden.

Fig. 518.



Symmetr. Mineralgang. *a* Quarz, *b* grüner Flußspat, *c* fleischroter Baryt, *d* weißer Kalkspat in gelbe Drusen ausgehend. Unter *a* und *c* etwas Blende, in *c* und unter *d* dünne Markasitschichten. Drei Prinzen Spat bei Freiberg nach Weißenbach.

Fig. 519.

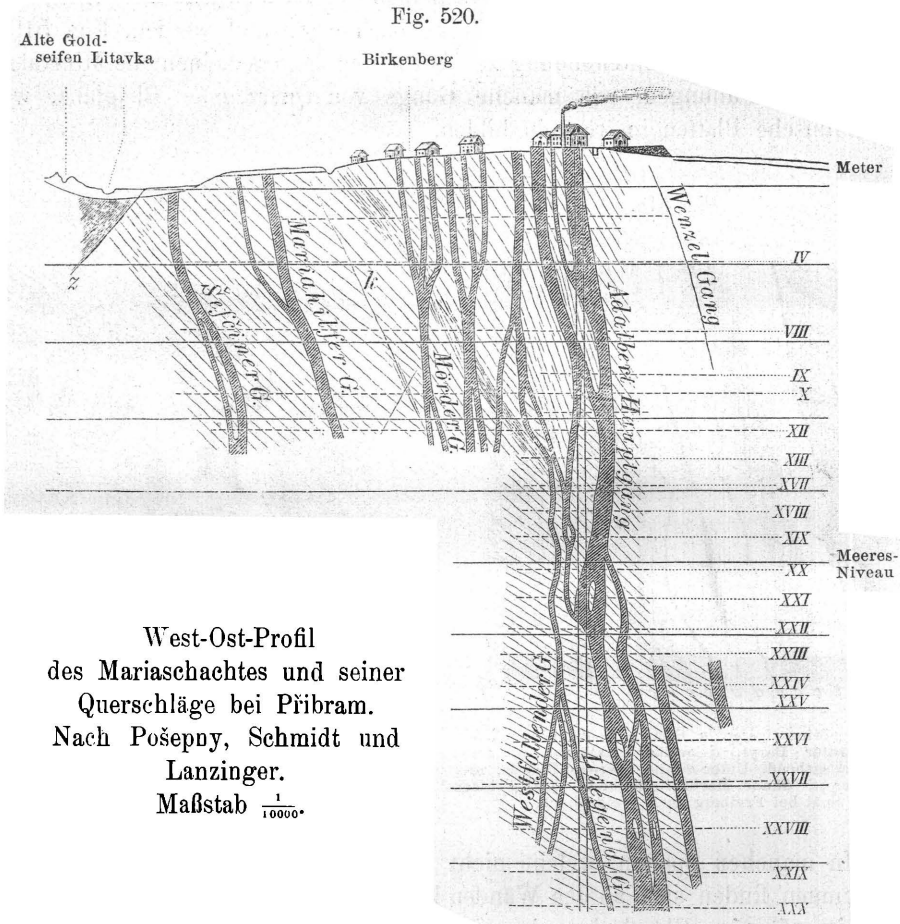


Gangbreccie. Glimmerschiefer-Bruchstücke, von Pyrit und stängeligem Quarz umgeben. Hierauf folgt Manganspat, welcher in Drusen ausgeht. Peter stehend Gang bei Freiberg nach Weißenbach.

In manchen Spalten, welche nicht geschlossen sind, ferner in sehr vielen Hohlräumen finden sich an den Wänden krustenförmige Überzüge, welche traubige oder nierenförmige Oberfläche zeigen, ferner jene Zapfenformen, welche man als Tropfsteine oder Stalaktiten bezeichnet. Beispiele dafür liefern der Kalkspat, welcher in den Kalkhöhlen so häufig stalaktitische Formen darbietet, der braune Glaskopf, der Psilomelan. Aber auch Pyrit, Markasit, Bleiglanz finden sich öfters als Stalaktiten.

Man findet die Mineralgänge, besonders die Erzgänge, oft in der Nachbarschaft von Gesteinsstöcken und Gesteinsgängen. Zuweilen begleitet ein Mineralgang das Eruptivgestein. Hiehergehörige Beispiele liefern die Erzgänge von Příbram in Böhmen, Fig. 520.

In beistehender Figur ist das Verhalten der Gesteine in der Nähe des Mariaschachtes, soweit dasselbe gegenwärtig bekannt ist, in einem Durchschnitte genau angegeben. Der Bergbau hat hier eine Menge von Diabasgängen aufgeschlossen, welche den Tonschiefer und Sandstein durchsetzen und sich darin mannigfach verzweigen. Diese Diabasgänge sind von Erzgängen begleitet, welche bald an der Seite, bald in der Mitte des Gesteinganges liegen. Die Erzgänge würden aber in der Zeichnung nur als unmerkliche Linien erscheinen, ähnlich wie der Wenzelgang, welcher ohne Begleitung eines Eruptivgesteines auftritt. Bei *k* wurde auch eine taube (erzleere) Kluft angefahren. Bei *z* wurde eine Dislokation beobachtet (Lettenkluff).



Der Mariaschacht ist gegenwärtig über 1000 Meter tief. Die von demselben ausgehenden horizontalen Strecken sind als punktierte Horizonte angegeben und mit römischen Ziffern bezeichnet. Der Bergmann spricht hier vom XX. Lauf, XXI. Lauf u. s. w.

Manche Mineralgänge setzen aus einem Gestein ins andere fort, ohne ihre Zusammensetzung zu ändern, während andere vom Nebengestein abhängig sind, indem sie bei der Fortsetzung in ein zweites Gestein dieses oder jenes Mineral einbüßen. Hieher gehören z. B. die goldführenden Quarzgänge der Trachytgesteine, welche beim Austritt in das Nebengestein den Goldgehalt verlieren.

Die Paragenesis auf den Mineralgängen kann sehr verschieden sein, doch wiederholen sich manche Mineralgesellschaften auf mehreren Lagerstätten. Die häufigsten Minerale sind Quarz und Kalkspat, dazu kommt öfter Baryt, Dolomit, Eisenspat. Auf den Erzgängen treten mit diesen Oxyde und Sauerstoffsalze, noch häufiger aber Sulfide und Sulfosalze der schweren Metalle auf. Eine konstante Paragenesis derselben Minerale auf Erzgängen hat Weißenbach als Gangformation, Breithaupt als Erzformation bezeichnet.

Einige Beispiele der Paragenesis sind folgende von Breithaupt beobachtete, in welchen durch die Aufeinanderfolge der Mineralnamen die Sukzession ausgedrückt ist:

Quarz, Zinnerz, Topas, Apatit, Fluorit. Ehrenfriedersdorf in Sachsen.

Quarz, Eisenglanz, Fluorit, Eisenspat. Altenberg in Sachsen.

Magnetit, Quarz, Mesitinspat, Dolomit. Traversella in Piemont.

Quarz, Albit, Eisenspat. Heinzenberg im Zillertal, Tirol.

Quarz, Chabasit, Stilbit. Andreasberg am Harz.

Eisenkies, Bleiglanz, schwarze Blende, Braunspat. Rodna in Siebenbürgen.

Bleiglanz, Blende, Kupferkies, Eisenkies, Amethyst, Gold. Porkura in Siebenbürgen.

Quarz, Eisenspat, Bleiglanz, Bournonit, Kupferkies. Neudorf am Harz.

Quarz, Eisenspat, Bleiglanz, Fahlerz, Blende, Kupferkies, Kalkspat. Grube Mariahilf bei Pöbbram.

Baryt, Bleiglanz, Ankerit, Eisenkies, Kalkspat, Eisenkies, Nadeleisenerz, Kalkspat. Pöbbram.

Quarz, Himbeerspat, Quarz, Himbeerspat, Quarz, Himbeerspat, also drei Generationen. Kapnik in Ungarn.

Quarz, Antimonit, Baryt. Felsőbánya in Ungarn.

Baryt, gelber Fluorit, blauer Fluorit, Baryt. Freiberg in Sachsen.

Fluorit, Baryt, Kupferkies, Ankerit. Freiberg.

Quarz, Blende, dunkles Rotgiltigerz, Markasit. Scheinitz in Ungarn.

Quarz, Bleiglanz, Fluorit, Polybasit, drahtförmiges Silber, Kalkspat. Grube Himmelfahrt bei Freiberg.

Quarz, Rotnickelkies, Chloanthit, Kupferkies, gelber Fluorit, Quarz. Freiberg.

201. Die Auskleidungen der Absonderungsklüfte sind auch bisweilen krustenartig, doch sind es meist einfache, keine wiederholten Krusten, oder die Wände sind mit einzelnen Krystallen besetzt. Gewöhnlich sind die schmalen Räume vollständig erfüllt und die angesiedelten Minerale bilden Trümer im Gestein.

Die Minerale sind häufig solche, die auch im Nebengestein vorkommen, oder es sind verwandte Bildungen. Im Granit und Gneis finden sich oft schöne Bergkrystalle und Adulare; wenn die Wände mehr zurücktreten, zeigen sich öfter reiche „Krystallkeller“. Nicht selten beobachtet man die Erscheinung des Fortwachsens der Wände, indem Individuen, welche bei der Absonderung zerrissen wurden, durch die Anlagerung des gleichartigen Stoffes mit gleicher Orientierung zu neuen Krystallen auswachsen. So haben die Quarz- und Feldspatkrystalle der Drusen im Granit oft gleichsam ihre Wurzeln im Gestein. Die Kalkspatkrystalle in den Kalksteinen hängen auch öfter mit der Grundlage zusammen. Der Bergbau verfolgt auch die in den Trümmern angesiedelten nutzbaren Minerale und findet dieselben mit deren Begleitern bisweilen klumpenförmig, sackartig, fleckenförmig im Gestein verteilt als „Butzen“ und „Nester“.

So wie die Absonderungen erscheinen auch oft die geschlossenen Hohlräume in manchen Gesteinen von Krusten ausgekleidet oder auch ganz mit Neubildungen

angefüllt. Dazu gehören insbesondere die Mandelsteinbildungen in Melaphyren und Basalten. Hier sind scharf begrenzte Räume, die man gewöhnlich als Blasenräume bezeichnet, mit Achat, Quarz oder mit Zeolithen, mit Kalkspat u. s. w. teilweise oder ganz erfüllt.

Die Krusten und Füllungen der Spalten und Absonderungen finden sich sowohl in Massengesteinen als auch in Schichtgesteinen, jedoch bemerkt man dieselben am häufigsten in den ältesten Gesteinen. Die Menge jener Bildungen zeigt in den jüngeren Felsarten eine allmähliche Abnahme bis zu den jüngsten Gesteinen, in welchen zuletzt nur Spuren dieser Erscheinungen zu beobachten sind. Man schließt hieraus auf eine fortdauernde allmähliche Bildung dieser krystallinischen Absätze.

202. Imprägnationen. Nicht selten finden sich Minerale in solcher Form, daß sie die Poren und feinsten Zwischenräume in früher vorhandenem Gestein ausfüllen, oder Schwärme von Einsprenglingen darstellen und durch ihr Vorkommen auf eine Durchtränkung des Gesteines hinweisen.

Vor allem sind es die aus losen Massen hervorgegangenen Felsarten, wie die Tone, Mergel, Sande, die Konglomerate und Breccien, welche solche Bildungen enthalten. Das Bindemittel dieser Gesteine, wofern es krystallinisch ist, gehört zu den Imprägnationen. Es besteht aus neugebildeten Mineralen, welche aber den im Gestein herrschenden ähnlich sind. Die Imprägnationen sind entweder gleichförmig oder schichtenartig, oft aber unregelmäßig verbreitet. Kalkspat, Quarz bilden die gewöhnlichen, Gyps, Pyrit, Baryt seltenere Imprägnationen. Dieselben Minerale, welche öfter als Imprägnation vorkommen, bilden auch Konkretionen im Gestein [67]. In den krystallinischen Schiefen und Tonschiefern treten bisweilen zonenförmige Imprägnationen auf, die aus Pyrit, Kupferkies, Blende und anderen Sulfiden bestehen und der Schichtung folgen. Man hat dieselben Fahlbänder genannt.

In Massengesteinen ist die Imprägnation gewöhnlich mit einer Zersetzung verknüpft. Trachyte, Andesite, welche durch Zersetzung erdig geworden, erscheinen stellenweise mit Opal durchtränkt. In vielen Gesteinen, welche zum Diabas, Melaphyr, Basalt gehören, ist der bei der Zersetzung entstandene Kalkspat als Imprägnation gleichförmig verbreitet.

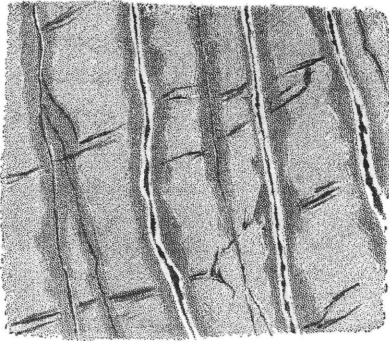
Nicht selten gehen die Imprägnationen von Klüften aus, namentlich wenn solche mit neu angesiedelten Mineralen erfüllt sind. Ein Beispiel ist die Durchtränkung des Granites mit Quarz in der Nähe der Zinnerzgänge von Altenberg, Fig. 521.

Lit. über Lagerstätten: v. Cotta, Die Lehre von den Erzlagerstätten, Freiberg, 1859 bis 1861. v. Groddeck, Die Lehre von den Lagerstätten der Erze, Leipzig, 1879. Beck, Lehre von den Erzlagerstätten, Berlin, 1901. Bergeat, Die Erzlagerstätten, Leipzig, 1904. F. Beyschlag, P. Krusch und J. H. L. Vogt, Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine, 3 Bde. Stuttgart, 1912.

203. Kontaktbildungen. An Stellen, wo Massengesteine, wie Syenit, Granit, an Schichtgesteine grenzen, treten bisweilen Mineralbildungen auf, die, nach allen bisherigen Beobachtungen zu schließen, durch den Kontakt der beiden Gesteine veranlaßt sind. Dieselben sind teils Silikate, teils auch andere Verbindungen.

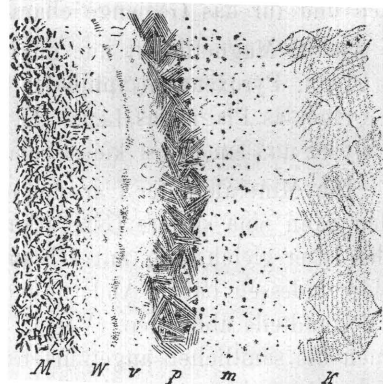
Im Kalkstein treten in solchen Fällen an der Grenze gegen das berührende Silikatgestein verschiedene Minerale, wie Granat, Vesuvian, Augit bisweilen in zonenförmiger Anordnung, gewöhnlich aber in unregelmäßigen Gemengen auf, und weiter entfernt vom Silikatgestein finden sich auch noch Neubildungen als Imprägnationen im Kalkstein. Dieser selbst ist im Kontakte körnig und häufig eigentümlich bläulich gefärbt. Ein Beispiel zonenförmiger Anordnung der Kontaktminerale bietet eine Stufe von den Canzacoli bei Predazzo, Fig. 522.

Fig. 521.



Gangtrümer, welche Quarz, Apatit, Flußspat, Zinnerz etc. führen, im Granit. Dieser ist in der Nähe der Trümer zersetzt und mit Quarz imprägniert. Geyer in Sachsen nach Weißenbach.

Fig. 522.



Kontaktbildung an der Grenze des Monzonits *M* und Kalksteines *K* von den Canzacoli bei Predazzo. *W* veränderter Monzonit, *v* Gemenge von Fassait, Granat, Vesuvian, *p* Phlogopit, *m* Monticellit mit Spinell. In den Zonen von *W* bis *m* ist auch überall Calcit enthalten (Schaustück des geolog. Univ.-Museums).

Sehr bekannt sind die schön krystallisierten Minerale der Kontaktbildungen des Monzoni in Südtirol, von Cziklowa im Banat, ferner jene von Arendal in Norwegen, vor allen aber die prächtigen Stufen aus den Kalkbomben der Somma am Vesuv, welche, wie anzunehmen ist, von einer tiefliegenden Kontaktzone abgelöst und durch die vulkanische Tätigkeit emporgebracht wurden.

In den Tonschiefern zeigen sich an den Kontaktstellen öfter Andalusit, Feldspat, Cordierit, Granat, Turmalin als Neubildungen, jedoch selten in so grobkristallinischen Anhäufungen wie im Kalkstein.

An der Grenze des Kalksteines gegen Massengesteine treten auch Mineralbildungen auf, unter welchen Eisen- und Manganerze eine wichtige Rolle spielen. Diese Lagerstätten werden später als Verdrängungserscheinungen von den eben erwähnten Kontaktbildungen unterschieden werden.

204. Massengesteine. Diese werden gemäß ihrer Struktur, den Lagerungsformen und dem von der chemischen Zusammensetzung abhängigen Mineralbestande unterschieden.

Rosenbusch bezeichnet als Tiefengesteine die stockförmigen Massen von vorwiegend körniger Struktur; als Ergußgesteine die Felsarten von körniger, porphyrischer, dichter Beschaffenheit, die an der Erdoberfläche Kuppen, Decken

und Ströme darstellen. Zwischen beiden Hauptgruppen vermitteln Übergänge, die mit den Tiefengesteinen das Auftreten innerhalb der Erdrinde häufig als Gesteinsgänge oder als Randteile der Stöcke, mit den Ergußgesteinen die mannigfaltige Struktur gemein haben. Rosenbusch faßt sie als Ganggesteine zusammen.

Die Massengesteine sind Silikatgesteine, in welchen gewöhnlich die Glieder der Feldspatfamilie die Hauptrolle spielen. Minerale, die nicht zu den Silikaten zählen, kommen darin gewöhnlich nur in geringen Mengen vor, am häufigsten Apatit und Erze, seltener Sulfide. Nach der in vielen Fällen beobachteten Sukzession aufgezählt [194], sind als Minerale, welche diese Gesteine hauptsächlich zusammensetzen und für das Gemenge charakteristisch sind, folgende hervorzuheben:

- I. Apatit, Magnetit, oft nur mikroskopisch nachweisbar.
- II. Olivin, Pyroxene, Amphibole, Biotite (dunkle Gemengteile).
- III. Orthoklas, Plagioklas, Leucit, Nephelin, auch Sodalith, Melilith (helle Gemengteile).
- IV. Quarz und amorphes kieselerdreiches Glas, letzteres in den glasigen Felsarten.

Die Minerale unter I erscheinen gewöhnlich zuerst ausgeschieden, die unter II bilden dann eine spätere Generation, der Quarz ist häufig die letzte Bildung, bisweilen ist er gleichzeitig mit III ausgeschieden. Die Reihenfolge der Ausscheidung erleidet indessen häufig Änderungen, die gesetzmäßig von den Mengenverhältnissen der Bestandteile abhängen. (Vergl. [189] Erstarrungsprodukte.) In demselben Gestein können die sämtlichen angeführten Minerale nebeneinander gefunden werden, jedoch mit der Ausnahme, daß die Minerale IV niemals im selben Gestein zugleich mit Leucit und den folgenden, unter III aufgezählten, beobachtet werden (Paragenetische Regel). In den jüngsten Ergußgesteinen sind die Minerale gewöhnlich frisch und enthalten wenige oder gar keine Pseudomorphosen und Neubildungen. Letztere sind in den älteren veränderten Ergußgesteinen und in den Ganggesteinen häufig.

In jeder der Hauptabteilungen werden, entsprechend der Paragenese, mehrere Felsarten unterschieden. Von diesen mögen einige wichtige unter Nennung der charakteristischen Gemengteile hier angeführt werden:

	Tiefengesteine	Ergußgesteine	verändert
Quarz + Orthoklas + Biotit.....	Granit	Liparit	Quarzporphyrit
Plagioklas + Hornblende ...	Diorit	Andesit	Porphyrit
Plagioklas + Augit.....	Gabbro	Basalt	Melaphyr

Die Kombination:

Orthoklas + Hornblende ...	Syenit	Trachyt	Orthophyr
vermittelt zwischen der ersten Reihe und einer zweiten:			
Nephelin + Orthoklas	Nephelinsyenit	Phonolith	—
Nephelin + Plagioklas + Augit	Theralith	Tephrit	—

Die Endglieder beider Reihen können Olivin in steigender Menge aufnehmen. Dies führt zu dem olivinreichen Olivinfels, der nur als Tiefengestein bekannt ist, während das entsprechende Ergußgestein fehlt. Zwischen allen diesen Felsarten gibt es die mannigfachsten Übergangsformen. Die gegenseitigen Verwandtschaftsbeziehungen der Haupttypen lassen sich annähernd durch folgende Anordnung in der Ebene darstellen:

Granit

Syenit

Diorit

Gabbro

Nephelinsyenit

Theralith

Olivinfels

In dieser Anordnung nimmt von unten nach oben die Kieselsäure zu, von rechts nach links die Alkalien, von links nach rechts Calcium, Eisen und zuletzt Magnesium.

Lagerstätten, die den Massengesteinen eigentümlich sind, wie jene von Apatit, Magnetit, Olivin, erscheinen als Ausscheidungen und lokale Anhäufungen einzelner Gemengteile.

205. Sedimentäre Gesteine. Viele Gesteine bestehen aus den Bruchstücken, Geröllen, Splittern, Körnern oder dem Pulver der krystallinischen Gesteine sowohl im frischen als im umgewandelten Zustande. Sie sind demnach aus Quarz und Silikaten zusammengesetzt. Die Verbindung der Teile wird bisweilen durch einen Kitt, ein Zement, hervorgebracht, meist ist dieselbe durch den Druck der Gebirgsmassen und die in der ganzen Masse sich entwickelnden Neubildungen herbeigeführt. Ein großer Teil besteht noch aus den losen Anhäufungen des klastischen Materials. Alle diese Ablagerungen, welche stets eine mehr oder minder deutliche Schichtung zeigen, werden samt den Kalkgesteinen als sedimentäre Bildungen zusammengefaßt.

Bei ihrer Bildung tritt häufig eine Sonderung ein. Einerseits werden gröbere Bruchstücke der Gesteine und Körner des mechanisch und chemisch gleich widerstandsfähigen Quarzes zusammengeführt. Das liefert die groben Konglomerate, Sandsteine und Grauwacken (feldspatreiche Sandsteine). Chemisch ist diese Gruppe oft durch Vorherrschen der Kieselsäure ausgezeichnet.

Andererseits sammeln sich die feinerdigen, häufig kolloiden Rückstände der chemischen Zersetzung der Gesteine als feiner Schlamm oder Staub. Chemisch sind solche Massen durch Vorherrschaft von Tonerdesilikaten, öfter auch durch Eisenoxyde ausgezeichnet. Hierher gehören die festen Tonschiefer, die Schiefertone, die Tone und der Löß, die als lockere bis leicht zerreibliche Sedimente erscheinen.

Zu den Sedimentbildungen gehören auch die Tuffe, welche aus dem bei der Eruption gebildeten Detritus vulkanischer Gesteine bestehen und in welchen häufig rundum ausgebildete Krystalle vorkommen. Zwischen den Kalksteinen, Sandsteinen und Tonschiefern erscheinen bisweilen Diabastuffe, Porphyrtuffe, Melaphyrtuffe, in den jüngeren Sedimenten und an der Erdoberfläche Andesittuffe, Basalttuffe, Phonolithtuffe.

Innerhalb der klastischen Gesteine treten oft ziemlich mächtige Lagerstätten auf. Dahin gehören die Gypslager, die bisweilen mannigfach zusammengesetzten Steinsalzlagerstätten, die Kohlenlager, die Lagerstätten von Brauneisenerz, Roteisenerz.

Die losen Ablagerungen von Schutt, Geröllen und Sand, welche nutzbare Minerale beherbergen, werden Seifen oder Seifengebirge genannt. Man kennt Goldseifen, Platinseifen, Zinnerzseifen, auch Edelsteinseifen, wie die Diamantseifen u. a.

206. Kalkgesteine. Die Felsarten dieser Abteilung sind den klastischen Gesteinen in mannigfaltigem Wechsel eingeschaltet und bilden oft Übergänge zu denselben.

Der Kalkstein ist dicht bis deutlich körnig und besteht zum größten Teil aus Kalkspat. Er ist oft deutlich geschichtet, jedoch erscheint er dort, wo er sehr mächtig auftritt, häufig massig ohne Schichtung. Die Felsart bildet Lager zwischen den klastischen Gesteinen oder baut als schichtiges bis massiges Gestein mächtige Gebirge mit steilen und zackigen Formen auf. Diese sind oft von Höhlungen durchzogen. Der Dolomit ist häufig krystallinisch, besteht bloß aus dem Mineral Dolomit, zeigt dieselben Formen wie der Kalkstein, mit dem er durch Übergänge verbunden ist. Klastische Bildungen beider Felsarten in der Form von Breccien, Konglomeraten, Sandsteinen und losen Gebilden sind häufig.

Die Mischungen von Kalkstein mit Ton werden Mergelkalkstein und Mergel genannt.

Dem Kalkstein ist das Auftreten von Höhlungen mit teilweiser oder vollständiger Füllung, die kavernöse oder sackförmige Erzlagerstätten darstellen, eigentümlich. Die Kontaktlagerstätten wurden schon früher erwähnt.

207. Krystalline Schiefer. Damit werden krystalline Gesteine bezeichnet, die eine Parallelstruktur erkennen lassen, die ihnen im festen Zustand aufgeprägt wurde. Ein wichtiges Merkmal ist, daß keine Sukzession der Gemengteile zu erweisen ist, vielmehr alle wesentlichen Gemengteile gleichzeitig krystallisierten. Die Ausbildung von Krystallformen ist Resultat der größeren Krystallisationskraft einzelner Gemengteile.

Im Mineralbestand zeigt sich eine gewisse Ähnlichkeit mit den Tiefengesteinen, viel weniger mit den Ergußgesteinen. Im einzelnen zeigen sich Abweichungen, indem Minerale auftreten, die dem normalen Bestand der Tiefengesteine fremd sind, wie: Muskovit, Granat, Epidot. Bemerkenswert ist die Neigung zur Bildung von Mineralen mit hohem spezifischen Gewicht.

Ihrem stofflichen Bestande nach zerfallen sie in zwei Gruppen, von denen die eine mit den Massengesteinen, die andere mit den Sedimentgesteinen übereinstimmt. Doch gibt es schwierig zu deutende Zwischenformen. Die Paragenese des Granits wiederholt sich in den Gneisen, häufig tritt aber Muskovit als fernerer Bestandteil hinzu; eine Abart, in der die Glimmer durch akzessorischen Granat und Disthen ersetzt sind, heißt Granulit. Den Syeniten, Dioriten und Gabbros entsprechen krystalline Schiefer, in denen die Hornblende stark hervortritt, die, öfter im Vereine mit Epidot, den Feldspat, aber auch den Augit zurückdrängt. Dies sind die Amphibolite. Ihnen schließen sich die Eklogite an, in denen Granat und Diopsid eintreten. Lager von Olivinfels kommen bisweilen vor.

Die zweite Gruppe schließt sich ihrer Zusammensetzung nach den Sedimentgesteinen an. Zu den Mineralen der Tiefengesteine treten hier besondere Gemengteile, die man als normale Bestandteile der Massengesteine nicht kennt und die durch Reichtum an Alumosilikat charakterisiert sind, wie: Granat, Staurolith, die Minerale der Andalusitgruppe: Disthen, Sillimanit, Andalusit, ferner die Sprödglimmer.

Die feldspatreichen Arten werden Schiefergneise, die feldspatarmen Glimmerschiefer genannt. Den kieselsäurereichen Sandsteinen entsprechen die Quarzite.

Diese Gesteine werden als die untere Stufe der krystallinen Schiefer bezeichnet. Zu der oberen Stufe gehören Felsarten, in denen hydroxylreichere Silikate, namentlich Muskovit und Chlorit, hervortreten. Herrschend sind die Phyllite oder Tonglimmerschiefer, die sich wie feinkrystalline chlorithaltige Glimmerschiefer verhalten und in die bei den Sedimenten genannten Tonschiefer übergehen. Als akzessorische Gemengteile enthalten sie häufig Albit, Epidot, Turmalin, Rutil. Statt der Amphibolite trifft man die chlorit- und epidotreichen Grünschiefer, die oft mit Kalkglimmerschiefern in Verbindung stehen.

In den Gesteinen der oberen Stufe ist in der Regel eine deutlichere Schieferung vorhanden und Anzeichen von Verschiebung und Verbiegung der Gemengteile sind häufig zu beobachten.

Magnesiareiche Felsarten sind oft als Serpentin entwickelt und von Talk- und Chloritschiefer begleitet. Körniger Kalk und Dolomit findet sich in beiden Stufen. Lagerstätten von Magnetit, Eisenglanz begleiten öfter die amphibolreichen Schiefergesteine.

Lit. Zirkel, Lehrbuch der Petrographie, 3 Bde., Leipzig, 1893 und 1894. Rosenbusch, Mikroskop. Physiographie der massigen Gesteine, 2 Teile, 4. Aufl. 1907 und 1908, Stuttgart, 1895 und 1896. Rosenbusch, Elemente der Gesteinlehre, 3. Aufl., Stuttgart, 1910. E. Weinschenk, Grundzüge der Gesteinskunde, 2 Bde., 2. Aufl., Stuttgart, 1907. F. Rinne, Praktische Gesteinskunde, 3. Aufl., Hannover, 1912. U. Grubenmann, Die krystallinen Schiefer, 2. Aufl., Berlin, 1910.

208. Die Atmosphäre. Die atmosphärische Luft steht sowohl mit der festen Erdrinde als mit den auf derselben angesammelten Wassermassen in einem Zusammenhange, da die Luft zum Teil aus Wasserdampf besteht, da sie die oberen Regionen der Erdrinde durchdringt und zugleich mit den hinabdringenden Wassern an manchen hier ablaufenden Veränderungen teilnimmt. In chemischer Beziehung erweist sich der Sauerstoff der Atmosphäre als besonders aktiv, an der Erdoberfläche spielen aber auch andere Bestandteile, das Kohlendioxyd und der Stickstoff, eine wichtige Rolle. Dem letzteren ist das Argon ähnlich, welches erst später in der Atmosphäre aufgefunden wurde*). Auch Wasserstoff ist in sehr geringer Menge nachgewiesen worden.

Da die atmosphärische Luft ein Gasgemisch ist, so kommen kleine Abweichungen in der Zusammensetzung vor, die aber durch die Winde bald wieder ausgeglichen werden. In 100 Volumteilen Luft sind enthalten: Sauerstoff 21·0, Stickstoff 75·75, Argon 1·20, Kohlendioxyd 0·03, Wasserstoff 0·02 Volumteile. Zu diesen Bestandteilen kommt noch der Wasserdampf, dessen Menge ungemein schwankend ist.

209. Das Wasser. Außer der bekannten Verbreitung des Wassers und des Eises auf der Erdoberfläche spielt auch die Verteilung des Wassers in der Erd-

*) 1894 von Rayleigh und Ramsay. Außerdem wurden die früher nicht bekannten Stoffe: Neon, Helium, Krypton, Xenon in außerordentlich geringer Menge als Bestandteile der Luft nachgewiesen.

rinde bei den Erscheinungen, die sich im Bereiche der Minerale vollziehen, eine wichtige Rolle.

Das im Boden verbreitete Wasser sammelt sich in den Höhlungen, Spalten und Klüften sowie in den Lücken der losen Gebilde in sichtbarer Form an. Der Schwere folgend, brechen diese Wässer als Quellen zutage. Außerdem aber ist das Wasser auch in kaum erkennbarer Form durch die Erdkruste verbreitet. Die saugende Kraft der kapillaren Klüfte und der Druck auflastender Wassersäulen treiben die Flüssigkeit nicht nur in die feinsten Absonderungen, sondern auch in das kompakte, feste Gestein. Jeder Stein, auch wenn er einer trocken aussehenden Stelle des Bergwerkes entnommen wird, enthält Feuchtigkeit und verliert an Gewicht, sobald er der trockenen Luft ausgesetzt wird. Das Wasser ist demnach in der Erdrinde teils in der Gestalt eines deutlich sichtbaren Geflechtes, teils in der unsichtbaren Form von Gebirgsfeuchtigkeit verbreitet.

Alles Wasser, welches mit der Luft in Berührung war, enthält etwas von den Bestandteilen der Luft aufgelöst. Es vermag davon bis zu 1·88 Volumprocente zu absorbieren. Weil aber der Stickstoff am schwächsten, die Kohlensäure am stärksten absorbiert wird, so hat die im Wasser enthaltene Luft eine andere Zusammensetzung als die atmosphärische, nämlich 64·5 Volumprocente Stickstoff mit einer kleinen Menge Argon, 33·7 Sauerstoff und 1·8 Kohlensäure. Somit enthält das Regenwasser immer etwas von diesen Stoffen, von denen der Sauerstoff und die Kohlensäure auf die Erdrinde einzuwirken vermögen. Der Sauerstoff wird die im Boden verbreiteten organischen Substanzen oxydieren und Kohlensäure bilden, wodurch der Kohlensäuregehalt der Wässer vermehrt und deren Lösungsfähigkeit gesteigert wird. Außerdem werden stark verbreitete Minerale, wie Eisenkies, Magnetit, alle Eisenoxydulsilikate durch den Sauerstoff oxydiert. In erheblichen Tiefen werden daher die Wässer keinen freien Sauerstoff mehr enthalten.

210. Während das in die Tiefe hinabsickernde Wasser bloß Luft absorbiert, aber keine festen Stoffe aufgelöst enthält, bringen die als Quellen zur Oberfläche zurückkehrenden Wässer eine bunte Reihe von Stoffen in Auflösung mit sich, welche während des unterirdischen Laufes aufgenommen wurden.

Die Quellwässer, wie alle auf der Erdoberfläche vorkommenden Wässer sind Lösungen, die beim Eindampfen ein Gemenge salzartiger Verbindungen hinterlassen. Durch die Analyse werden bloß die einfachen Stoffe bestimmt, welche in dem Wasser enthalten sind, nicht aber die Gruppierung zu bestimmten Salzen. Man hat anzunehmen, daß in der Lösung jedes Metall mit allen elektronegativen Bestandteilen verbunden, ferner, daß ein Teil von beiderlei Stoffen außer Verbindung vorhanden (dissoziiert) ist. [162.] v. Than hat den Vorschlag gemacht, bei Angabe der Zusammensetzung bloß die durch die Analyse bestimmten Mengen der einfachen Stoffe anzuführen. Um aber die Übersicht zu erleichtern, pflegt man außerdem eine Gruppierung, welche die beim Eindampfen entstehenden Verbindungen, wie Na Cl , Mg SO_4 , mit einiger Wahrscheinlichkeit angibt, zur Darstellung der Zusammensetzung zu benutzen.

Die gelösten Stoffe sind erstens Chloride, unter welchen das Natriumchlorid, Na Cl , die Hauptrolle spielt, während andere, wie K Cl , Mg Cl_2 , Ca Cl_2 , in geringerer Menge vorhanden sind; ferner Sulfate, und zwar vorzugsweise Calciumsulfat Ca SO_4 , aber auch $\text{Na}_2 \text{SO}_4$, $\text{K}_2 \text{SO}_4$, Mg SO_4 ; drittens Carbonate, unter welchen das Natrium- und Calciumcarbonat vorwiegen, aber auch Mg CO_3 , Fe CO_3 , Mn CO_3

in geringen Mengen vertreten sind; viertens in geringer Menge freie Kieselsäure, ferner Verbindungen der Phosphorsäure, Tonerde, des Eisenoxydes und organische Substanzen, außerdem Silikate der Alkalien, jedoch letztere nur in Wässern, welche keine freie Kohlensäure und keine Bicarbonate führen. Bei genauer Untersuchung wurden aber in vielen Quellen geringe oder sehr geringe Mengen von anderen Stoffen gefunden, wie z. B. von Br, J, F, B, Se, Li, Cs, Rb, Sr, Ba, Cu, Sn, Zn, As, Sb etc.

Die Menge der fixen Bestandteile variiert außerordentlich. Jene Quellwässer, welche eine ungewöhnliche Quantität davon enthalten, werden Mineralwässer genannt und bei vorwiegender Menge von NaCl als Solquellen, bei erheblicher Menge von $MgSO_4$ als Bitterwässer u. s. w. unterschieden.

Manche Quellen bringen eine große Quantität von Kohlendioxydgas mit, welches ursprünglich in dem Wasser absorbiert, bei Abnahme des Druckes an der Atmosphäre zum Entweichen kommt und dadurch öfter ein Aufschäumen veranlaßt. Andere enthalten Schwefelwasserstoff absorbiert. Von großem Interesse ist das häufige Vorkommen solcher Quellen in der Nähe von jung-eruptiven Gesteinen, wie Trachyt, Basalt, gleichwie das Auftreten von Gasexhalationen, und zwar wiederum von CO_2 und SH_2 in der Nähe von tätigen oder erloschenen Vulkanen.

In den Quellwässern ist immer etwas von den Bestandteilen der Luft absorbiert enthalten, darunter bisweilen Argon und Helium in bestimmbarer Menge.

Die Quellwässer sind auch in ihrer Temperatur verschieden. Wenn die Temperatur von jener des umgebenden Bodens nicht stark abweicht, so wird man auf einen ziemlich direkten Lauf der Quelle schließen, wenn hingegen die Temperatur bedeutend höher ist, so wird man dieselbe von der warmen Tiefe ableiten und sich vorstellen, daß die Bahn der Quelle U-förmig gekrümmt sei und das Wasser einerseits hinabsinkt und in der Tiefe erwärmt wird, anderseits nach dem Prinzip der kommunizierenden Rohre wieder aufwärts steigt und zutage tritt. Die warmen Quellen (Thermen) werden demnach als aufsteigende Quellen betrachtet.

Sueß vertritt die Anschauung, daß das Wasser der heißen Quellen nicht von der Erdoberfläche stammt, sondern in der Tiefe aus den Elementen gebildet werde.

Der Gehalt an fixen Bestandteilen hängt aber nicht von der Temperatur ab, wie folgende Beispiele zeigen:

	Temperatur	fixe Bestandteile	vorwiegend
Homburg	10·6° C	1·329 Prozent	NaCl, CaCO ₃
Karlsbad, Sprudel ...	73·8 "	0·5517 "	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ CO ₃ , NaCl
Ems	46·6 "	0·283 "	Na ₂ CO ₃ , NaCl
Teplitz, Böhmen	40 "	0·253 "	CaSO ₄ , MgSO ₄ , CaCO ₃
Großer Geiser	89 "	0·121 "	SiO ₂ , Na ₂ CO ₃ , NaCl
Gastein	48 "	0·0349 "	Na ₂ SO ₄ , NaCl, CaCO ₃
Pfäfers	37·5 "	0·0299 "	CaCO ₃ , MgCO ₃ .

In letzter Zeit wurden an manchen Quellen, besonders an jenen von Gastein, Beobachtungen gemacht, welche auf die Gegenwart des von Curie entdeckten merkwürdigen Elementes Radium oder eines ähnlichen Stoffes hinweisen (Radioaktivität).

211. Die Flüsse vereinigen die Quellwässer ihres Gebietes, aber auch die Regenwässer, daher die Flußwässer während des Jahres große Schwankungen des Gehaltes an fixen Bestandteilen zeigen. Aus der Zusammensetzung der Flußwässer ergibt sich, welche Stoffe hauptsächlich den Gesteinen entnommen und in das Meer geführt werden. Das Calciumcarbonat CaCO_3 steht obenan. J. Roth entnahm aus den Analysen des Wassers mehrerer großen Flüsse und Ströme, daß dieselben durchschnittlich in 5000 Teilen Wasser ungefähr 1 Gewichtsteil fixe Bestandteile führen, d. i. ungefähr 0·02 Prozent, also weniger als die Quelle von Pfäfers. Der Rückstand nach dem Eindampfen besteht vorzugsweise aus Carbonaten, welche ungefähr 60 Prozent des Ganzen ausmachen, dann aus Sulfaten mit 10, aus Chloriden mit 5 Prozent, endlich aus 25 Prozent anderer Stoffe, namentlich Kieselerde, Tonerde, Eisenoxyd, organische Substanz.

Die Wässer der Seen mit Abfluß verhalten sich wie die Flußwässer. Die Seen ohne Abfluß hingegen sind sehr verschiedenartig, sowohl in der Konzentration (dem Gehalte an fixen Bestandteilen) als in der Art der chemischen Zusammensetzung: Salzseen, Bitterseen, Natronseen, Boraxseen.

212. Das Meerwasser enthält eine viel größere Menge fixer Bestandteile als das Flußwasser, nach Forchhammer im Mittel 3·43 Prozent, worin das Natriumchlorid vorherrscht. Die Zusammensetzung des Gelösten ist im Durchschnitte:

Chlornatrium.....	78·32 Prozent	Magnesiumsulfat.....	6·40 Prozent
Chlorkalium.....	1·69 „	Calciumsulfat	3·94
Chlormagnesium.....	9·44 „	Carbonate und and. Stoffe	0·21 „

Der Unterschied gegenüber der Zusammensetzung der Flußwässer ergibt sich aus dem Vergleiche dieser und der zuvor genannten Zahlen.

	Im Flußwasser	Im Meerwasser
Carbonate	60·1	0·21
Sulfate	9·9	10·43
Chloride	5·2	89·45
Andere Stoffe	24·8	—

Lit. in Bisehofs Lehrb. der chem. u. phys. Geologie, 2. Aufl., Bd. 1, S. 203. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, Bd. 1, S. 437. v. Than, Tschermaks min. u. petrogr. Mitt., Bd. 11, S. 487 (1890). Dittmar, Reports of the scientif. results of the voyage of Challenger, Bd. 1 (1884). Daubrée, Les eaux souterraines à l'époque actuelle, 3 Bde., Paris, 1887.

V. Entwicklungslehre (Minerogenie).

213. Methoden. Wir kennen einen Naturkörper erst dann vollständig, wenn wir wissen, wie er geworden. Demnach ist auch die Bildungsgeschichte der Minerale der Schlußstein unserer Kenntnis von denselben. Die Bildungsweise macht das Mineral zu dem, was es vor allem ist, zu einem Teile der Erdrinde. Läßt sich

die Entstehung eines Mineralen verfolgen, so erscheinen seine Substanz, seine Eigenschaften, seine Paragenese als notwendige Folgen derselben Ursache.

Aber auch die Veränderungen, deren das Mineral fähig ist und welche dasselbe in der Natur erfährt, gehören zur Geschichte desselben. Die Produkte der Veränderung zeigen an, in welche Teile das Mineral zerfallen kann und geben gleichsam das innerste Gefüge an, welches demselben zukommt. Der Aufbau und der Zerfall, die Bildung und die Verwandlung, zusammengenommen betrachtet, geben erst ein vollständiges Bild von dem Wesen der einzelnen Minerale und von dem Zusammenhange des ganzen Mineralreiches.

Der Forscher vermag auf diesem Gebiete in vielen Fällen experimentell vorzugehen. Wofern Bildung oder Veränderung in kürzeren Zeiträumen erfolgen und der Beobachter die Umstände und Bedingungen zu überblicken vermag, kann er oft auch durch Versuche zeigen, daß die erkannten Bedingungen in der Tat hinreichen, um die wahrgenommene Substanz und die beobachtete Form hervorzubringen. So z. B. kann man durch Beobachtungen in Steinbrüchen und Bergwerken erfahren, daß die Bildung eines bestimmten Brauneisenerzes durch das Zusammentreffen von eisenhaltigen Tagewässern mit Kalkspat bedingt wird, überdies aber durch den Versuch zeigen, daß in einer eisenoxydhaltigen Auflösung durch hineingelegten Kalkspat ein brauner Körper von den Eigenschaften jenes Erzes gefällt wird. Manchmal wird beobachtet, daß Krystalle von Leucit, die im Gestein eingeschlossen waren, unter gewöhnlichen Umständen in eine erdige Masse von Analcim verwandelt wurden. Durch Versuche aber ist gezeigt worden, daß der Leucit bei der Behandlung mit Lösungen, die solche Natronsalze enthalten, welche in den gewöhnlichen Quellwässern vorkommen, in eine Substanz von der Zusammensetzung des Analcims überführt wird.

In anderen Fällen vermag sich der Forscher nicht auf Experimente zu berufen, sei es, daß noch keine angestellt wurden, sei es, daß Versuche keinen Erfolg hatten. Dann waltet die Beobachtung allein, und es sind vorzugsweise die Pseudomorphosen, die Abformungen und das Nebeneinandervorkommen, welche uns über die Entstehung und Veränderung der Minerale belehren. Die Beobachtung dieser Erscheinungen liefert gleichsam die Dokumente, durch deren Vergleichung und Zusammenstellung die Geschichte der Minerale konstruiert wird.

Oft gelingt es durch die Anwendung dieser historischen Methode, die in der Natur ablaufenden Vorgänge mit Sicherheit zu erkennen; da indes die Kontrolle durch den Versuch abgeht, so führt der Weg nicht immer zu einem befriedigenden Ergebnis, und es erübrigt nichts, als sich mit einer größeren oder geringeren Wahrscheinlichkeit zu begnügen.

214. Werden und Vergehen. Obwohl die oberflächliche Betrachtung der Steinwelt den Eindruck des Ewigen und Unveränderlichen hervorruft, so genügen doch wenige Beobachtungen an Pseudomorphosen, um die Wandelbarkeit der Minerale zu erkennen. Alle die häufiger vorkommenden Minerale finden sich in

mannigfacher Weise verändert, da nur wenige sich so widerstandsfähig erweisen wie der Quarz, andere sich leicht verwandeln, wie der Olivin, oder sich auflösen, wie der Kalkspat. Bei der mikroskopischen Untersuchung der verbreiteten Gesteine, sowohl der krystallinischen wie der klastischen, beobachtet man ungemein häufig unvollendete oder vollendete Pseudomorphosen und überall deutliche Zeichen der Veränderung, überall angegriffene und neugebildete Minerale. Es ist daraus zu entnehmen, daß die Erdrinde in einer beständigen inneren Verwandlung begriffen ist. Diese fortdauernde Veränderung ist ein Absterben alter, zugleich eine Bildung neuer Minerale, ein Verlassen alter, eine Annahme neuer Formen, auf der einen Seite ein beständiges Vergehen, auf der anderen ein beständiges Werden.

Trotzdem bleibt noch der Eindruck einer allgemeinen Zerstörung oder wenigstens Zerkleinerung, denn die neugebildeten Minerale sind meist von dichtem Gefüge, eine Ansammlung winzig kleiner Individuen. Auch in dem Transport und der beständigen Zertrümmerung der losen Gesteinsfragmente spricht sich dieselbe Tendenz aus. Dagegen scheinen die großen Krystalle auf den Gesteinspalten in Gneis und Granit, also die Bergkrystalle, Adulare oder die Bleiglanz- und Blendekrystalle auf den Gängen althergebrachte Wesen zu sein, die unter den unter unseren Augen entstehenden Mineralen nicht mehr ihresgleichen haben. Viele Beobachtungen führen aber zu der Anschauung, daß die Bedingungen der Bildung solcher Krystalle auch heute noch vorhanden sind, freilich in Regionen der Erdrinde, die unseren Augen entzogen sind und immer entzogen bleiben werden, daß in der Tiefe, in Spalten und auf Gängen immer noch neue Bergkrystalle, Adulare, Bleiglanzkrystalle sich ansiedeln und fortwachsen u. s. w.

Es ist demnach sehr wahrscheinlich, daß das beständige Werden auch solche Gebilde umfaßt, welche man in früherer Zeit als abgeschlossen und gleichsam abgestorben zu betrachten gewohnt war.

215. Zunahme der Mannigfaltigkeit. Wenn es auch einstweilen dahingestellt bleibt, ob die zuvor bezeichneten Bildungen heute noch fortauern, so ist doch nicht zu zweifeln, daß die aus früheren Bildungsperioden der Erde herrührenden Minerale im Laufe der Zeit zum Teil verändert wurden und sich auch jetzt noch verändern, daß also neue Minerale entstanden und jetzt noch entstehen, welche von den früher vorhandenen bald durch die chemische Zusammensetzung, bald durch die Form, durch die Textur verschieden sind. Es ist also sicher, daß durch die fortdauernden Umbildungen der Minerale die Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung der Erdrinde beständig zunimmt.

Dazu kommt noch, daß durch die Reste der Organismen den Schichten der Erde neue Verbindungen einverleibt werden, ferner daß durch den Transport der Gesteinsfragmente nach neuen Stätten und durch die Vereinigung derselben zu sedimentären Gesteinen eine bunte Verflechtung der Minerale hervorgerufen wird, und daß infolgedessen oft Minerale zur Berührung kommen, welche auf der ursprünglichen Stätte niemals Nachbarn sind. Die gleichzeitige Veränderung der so verbundenen Minerale bringt Substanzen zur Vereinigung, welche früher ge-

schieden waren, und liefert neue Produkte, daher auch die sedimentären Gesteine dazu beitragen, die Mannigfaltigkeit der Mineralbildungen zu erhöhen.

Die fortdauernde Zunahme der Mannigfaltigkeit kann als Entwicklung des Mineralreiches bezeichnet werden.

216. Bildungsweise. Viele Minerale haben eine direkte oder primäre Bildung, indem sie durch den Übergang einer Substanz aus dem beweglichen in den starren Zustand entstehen, z. B. Gyps, Borax, Steinsalz durch Krystallisation aus einer wässerigen Lösung. Diese Art der Bildung ist im Prinzip sehr einfach, wird aber durch verschiedene Umstände modifiziert, vor allem durch die Gegenwart anderer Substanzen, welche auf die Ausbildung der Form, auf die Art und Menge der Einschlüsse Einfluß haben. Es sind viele Versuche bekannt, welche dies dartun, so z. B. die Erfahrungen am Bittersalz, am Calcit, welche aus reiner Lösung in der einen Ausbildung krystallisieren, aus gemischter Lösung in einer anderen. (Vater's Untersuchungen über den Einfluß der Lösungsgenossen, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 21, 22.) Ein zweiter Umstand ist die Konzentration der Lösung und die damit zusammenhängende Geschwindigkeit der Bildung. Allmählich gebildete Krystalle erscheinen solid und ebenflächig, rasch gebildete hohl, skelettartig oder schließen viel von der Mutterlauge ein u. s. w. [57]. Wiederum ein wichtiger Umstand ist die Beweglichkeit der Lösung, welche oft durch Beimischung fester Teilchen beeinträchtigt wird. Eine zähflüssige Lösung, wie z. B. die Lavaschmelze, oder eine in plastischem Ton verteilte Lösung liefert rundum ausgebildete Krystalle [8].

Manche Minerale bilden sich aus der Substanz früher vorhanden gewesener Minerale, sie haben eine indirekte oder sekundäre Bildung, wie z. B. jener Orthoklas, welcher aus dem Leucit entsteht. Einzelne Mineralarten, wie Serpentin, Speckstein, Kaolin, sind immer sekundären Ursprungs. Die sekundäre Bildungsweise hat viele Modifikationen, die Formen aber, welche durch dieselbe veranlaßt werden, sind von zweierlei Art. Die neugebildeten Minerale erscheinen entweder als Pseudomorphosen, wobei das ursprüngliche Mineral ganz verschwunden sein kann, oder die Neubildung erscheint gleichsam parasitisch in oder auf dem ursprünglichen Mineral, welches zugleich die Spuren der Anätzung, Zerklüftung, Zersetzung an sich trägt. Ein Beispiel der parasitischen Form ist das Vorkommen von Malachit $\text{Cu}_2\text{H}_2\text{CO}_5$ in zerklüftetem Kupferkies CuFeS_2 oder die Auflagerung von Cerussit PbCO_3 auf angeätztem Bleiglanz PbS . Die sekundäre Bildung kann mehrere Stadien durchlaufen. So z. B. kann sich aus einem Eisenspat FeCO_3 zuerst ein Brauneisenerz von der Zusammensetzung $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ bilden, sodann aus diesem ein Roteisenerz Fe_2O_3 .

Eine und dieselbe Substanz kann auf verschiedene Weise entstehen, sie kann daher mehrere genetisch verschiedene Minerale liefern, doch wird jedes derselben durch Eigentümlichkeiten der Form, der Textur, der Einschlüsse u. s. w. die Verschiedenheit der Bildungsweise mehr oder weniger deutlich erkennen lassen, wenn gleich es öfter einer genauen Erfahrung bedürfen wird, für das einzelne Mineral die zugehörige Bildungsart mit Wahrscheinlichkeit oder Sicherheit anzugeben. Ein hiehergehöriges Beispiel gibt die Substanz Eisenoxyd Fe_2O_3 . Diese Zusammen-

setzung kommt mehreren Mineralen zu. Eines davon *a*) ist der in rhomboedrischen Krystallen auf Drusen mit Quarz, Adular etc. vorkommende Eisenglanz, der höchst wahrscheinlich direkt aus einer Lösung abgesetzt ist; ein zweites *b*) der in verzerrten tafelförmigen Krystallen in Spalten der Lava vorkommende Eisenglanz, dessen Bildung durch vulkanische Emanationen veranlaßt wurde; ein drittes *c*) der faserige Roteisenstein (roter Glaskopf), welcher durch Wasserverlust aus dem braunen Glaskopf hervorgeht; ein viertes *d*) das dichte Roteisenerz, welches in Formen von Pyrit FeS_2 auftritt und unzweifelhaft aus jenem Mineral gebildet wurde; ein fünftes *e*) das dichte Roteisenerz, welches pseudomorph nach Eisenspat FeCO_3 vorkommt und von letzterem abstammt; ein sechstes *f*) das dichte Roteisenerz, welches in den Formen von Kalkspatkrystallen, von Ammonitenschalen etc. vorkommt und ein durch das Calciumcarbonat veranlaßter Niederschlag ist. Außerdem gibt es noch mehrere hiehergehörige Mineralarten.

Die Bildungsgeschichte des einzelnen Mineralen gehört zwar in den Kreis der Entwicklungsgeschichte des Mineralreiches, doch läßt sich bei der Bildung des einzelnen Mineralen gewöhnlich kein Fortschritt vom Einfachen zum Zusammengesetzten und Mannigfaltigen erkennen. Das einzelne Mineral hat in diesem Sinne keine Entwicklung, doch wird diese Bezeichnung öfter angewendet, besonders um die indirekte Bildungsweise auszudrücken.

217. Erstarrungsprodukte. Die Lava aller Vulkane besteht fast ganz aus Kieselverbindungen. Nach dem Erstarren erkennt man in den meisten Laven Feldspate oder denselben verwandte Minerale, ferner magnesiumhaltige Silikate, wie Augit, Olivin, untergeordnet auch andere Minerale.

Die aus den Spalten des Vesuvs zähflüssig hervortretende Lava, welche wie ein glühender Honig aussieht, enthält unzählige darin schwimmende Leucitkrystalle, welche in der strömenden Lava weiterfließen. Beim Erstarren gibt sie fortwährend Wasserdämpfe und andere gasförmige Stoffe aus, die in derselben absorbiert waren. Untersucht man die vulkanische Asche, welche nichts anderes als die durch gewaltige Fumarolenwirkung zerstäubte Lava ist, so findet man darin kleine, schlackenartige Fetzen, erstarrte Tropfen, aber auch viele lose Krystalle, an welchen oft Schlackentropfen hängen. Am Vesuv werden unzählige Leucitkrystalle, am Ätna viele verstreute Augit-, Olivin- und Labradoritkrystalle in der Asche gefunden. Diese Krystalle sind also als feste Körper emporgeblasen worden. Daraus folgt, daß die Lava schon beim Emportreten fertig gebildete Krystalle enthalte. In der erstarrten Lava erscheinen sie oft zerbrochen, die Bruchstücke sind nicht selten durch die fließende Lava auseinandergeschoben. Es gibt aber Laven anderer Vulkane, die frei sind von solchen Einsprenglingen.

Wird die erstarrte Lava weiter untersucht, so zeigt sich dieselbe an der Oberfläche des Stromes öfter glasig erstarrt. In der Glasmasse, welche die zuvor erwähnten Krystalle umschließt, finden sich winzige feine Krystalle von Feldspaten oder von Leucit, von Augit etc. Nimmt man eine Probe aus den tieferen Lagen des Stromes, wo die Erstarrung langsamer vor sich ging, so findet sich in der Grundmasse weniger Glas, dagegen ist alles voll von den kleinen Krystallen, die

aber hier meist länger und dicker sind, als jene in dem Glase an der Oberfläche des Lavastromes.

Hieraus wird man schließen, daß auch nach der Eruption durch Erstarren der Lava Krystalle gebildet wurden, und zwar desto zahlreichere und größere, je langsamer die Abkühlung vor sich ging. Interessant sind in dieser Beziehung die Versuche von Fouqué und Lévy, welche zeigen, daß eine anfänglich amorphe Schmelze, welche die entsprechende chemische Zusammensetzung hat, durch langdauerndes Erhalten in einer dem Schmelzpunkte naheliegenden Temperatur in eine steinige Masse verwandelt wird, welche eine lavaähnliche Textur zeigt und kleine Krystalle von Leucit, Augit, von Feldspat etc. enthält [188].

Das Gestein, welches erstarrte Lava ist, besteht also häufig aus zweierlei Krystallen, den ursprünglichen größeren und den später gebildeten kleineren Krystallen. Die größeren sind vor der Eruption gebildet, nach Lagorios Ansicht durch die beginnende Abkühlung bei hohem Drucke.

Die größeren Krystalle der Laven zeigen bei der mikroskopischen Betrachtung häufig glasige Einschlüsse [61], welche dem glasigen Bestandteil der Grundmasse entsprechen, auch Flüssigkeitseinschlüsse werden öfter beobachtet, als Zeichen der Mitwirkung des Wassers. Die glasigen Einschlüsse finden sich aber auch in den Krystallen anderer Gesteine, welche mit den Laven mineralogisch gleichartig sind, welche auch in ihrem Auftreten eine ähnliche Bildung verraten (Ganggesteine und Ergußgesteine). Hieher gehören die Basalte und Melaphyre, die Andesite und Porphyrite, die Trachyte und Porphyre samt ihren Unterabteilungen [204]. Alle diese Gesteine werden als eruptive Bildungen angesehen und die darin enthaltenen Krystalle und glasartigen Erstarrungsprodukte in genetischer Beziehung den entsprechenden Teilen der Laven gleichgestellt. In den älteren Eruptivgesteinen ist jedoch die Grundmasse oft ganz porzellanartig steinig, also krystallinisch. Dies wird durch eine Entglasung des früher vorhanden gewesenen amorphen Bestandteiles erklärt [68].

Die Vorgänge bei der Ausscheidung bestimmter Verbindungen aus dem Magma, d. i. aus dem ursprünglichen Schmelzflusse der vulkanischen Gesteine, ferner die wechselnde Sukzession oder Ausscheidungsfolge sind in letzter Zeit Gegenstand eifriger Forschung. Dabei wird in erster Linie darauf Rücksicht genommen, daß das Magma als eine komplizierte Lösung zu betrachten ist und die für Lösungen geltenden Gesetzmäßigkeiten auch hier walten. Demnach ist die Sukzession sowohl von der ursprünglichen Zusammensetzung des Magma, das zu meist eine gas- und wasserhaltige Schmelze ist, wie von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der ausscheidenden Verbindungen, endlich von den durch die Temperatur, den Druck und die Abkühlungsgeschwindigkeit gegebenen Umständen abhängig. Was in dieser Beziehung durch die Beobachtungen an zufällig erhaltenen Schlacken und was insbesondere durch Versuche mit künstlichen Schmelzprodukten zu erkennen ist, wurde durch die Arbeiten von Lagorio, Morozewicz, Dölter und seiner Schule, durch die exakten Experimente der Forscher am geophysikalischen Laboratorium des Carnegie-Instituts in Washington und die vergleichenden Untersuchungen von J. H. L. Vogt klargestellt.

Lit. über Einsprenglinge: Fuchs, Jahrb. f. Min., 1869, S. 169, ferner in Tschermaks Mineralog. Mitteil., 1871, S. 65. G. vom Rath, Zeitschr. d. deutsch. geolog. Ges., Bd. 23, S. 727. Ausscheidung: Zirkel, Lehrbuch d. Petrographie, Bd. 1, S. 726 ff. (1893). Lagorio in Tschermaks Min. u. petrogr. Mitt., Bd. 8, S. 421 (1887). Morozewicz, ebendas., Bd. 18, S. 1 (1894). J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen, mit besonderer Rücksicht auf die Mineralbildung und Schmelzpunktserniedrigung, Christiania, 1903 und 1904. Krystallisationsfolge in Eruptivgesteinen, Min. petr. Mitt., Bd. 24, S. 437, Bd. 25, S. 361. Dölter, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 113, Abt. I, S. 117 (1904).

218. Die Tiefengesteine sind nicht nur in bezug auf die enthaltenen Minerale den Ganggesteinen ähnlich, sondern stehen auch oft mit Ganggesteinen in Verbindung. Sie werden daher auch zu den eruptiven Bildungen gezählt. Die Bestandteile derselben sind demnach als Ausscheidungen aus dem Schmelzflusse zu betrachten. Diese Gesteine zeigen gewöhnlich keine Einsprenglinge, sondern erscheinen gleichförmig körnig, so daß eine Folge der Ausscheidung weniger deutlich, doch aber durch die feinere Struktur erkennbar ist. Die Minerale enthalten selten Glaseinschlüsse, gewöhnlich aber Flüssigkeitseinschlüsse, was der Ansicht entspricht, daß sie nicht an der Erdoberfläche, sondern in der Tiefe erstarrt sind, folglich die Schmelze beim Erstarren den Wassergehalt nur allmählich und nicht vollständig verloren hat. Durch Glühen von Tiefengesteinen erhielt Gautier außer Wasserdampf auch Gase, wie CO_2 , H_2S , H_2 , CH_4 etc. Nicht selten werden Spuren einer Umbildung des Gemenges beobachtet, daher die Ansicht berechtigt erscheint, welche eine im Laufe der Zeit eintretende Veränderung vieler Tiefengesteine annimmt.

Die in dem Gemenge stellenweise vorkommenden Ungleichheiten oder Schlieren, welche als Anhäufungen einzelner Gemengteile, wie Plagioklas, Hornblende, Magnetit, Apatit, in einzelnen Fällen von Magnetkies, Pyrit erscheinen und zuweilen Lagerstätten bilden, werden gewöhnlich auf die bei der Abkühlung des Magma eintretenden Differentiationen zurückgeführt. Andere Ungleichheiten des Gesteingemenges rühren von Bruchstücken fremden Gesteines her, die von dem flüssigen Magma umschlossen und eingeschmolzen wurden.

Die krystallinischen Schiefer werden, soweit sie dieselbe Zusammensetzung wie die Tiefengesteine darbieten, gleichfalls zu den Erstarrungsgebilden gerechnet, in welchen Plattung und oft eine starke Schlierenbildung eingetreten ist. Sie wurden früher als zur ersten Erstarrungskruste der Erde gehörig betrachtet, jedoch ist es fraglich, ob von dieser noch ein Rest erhalten blieb.

Jene krystallinischen Schiefer, die zum Teil aus Mineralen bestehen, welche den Tiefengesteinen fremd sind und oft als sekundäre Bildungen auftreten, werden als Produkte einer Umwandlung angesehen. Hierher gehören viele Glimmerschiefer, die Chlorit- und Talkschiefer, die Epidotschiefer u. a. m.

Die Bildung der Kontaktminerale in Phylliten und Tonschiefern wird als eine Wirkung der von den benachbarten Eruptivmassen ausgehenden langdauernden Erhitzung abgeleitet, für die Kontaktminerale, welche in Kalkstein, Phyllit etc. dort entstanden sind, wo die letzteren mit Eruptivgesteinen in Berührung kamen [203], wird die gleichzeitige Wirkung des Wassers, der Gase und hoher Temperaturen als Agens betrachtet. Hiernach hat man sich nicht vorzustellen, daß

ein Zusammenschmelzen des Eruptivgesteines mit dem Kalkstein etc. stattgefunden habe, da die Grenze zwischen diesen Gesteinen eine scharfe ist; wohl aber hat man eine Erweichung von längerer Dauer anzunehmen, so daß in dem nun beweglichen Medium durch Einwanderung von Stoffen aus dem Eruptivgestein jene oft sehr schönen und großen Krystalle von Granat, Vesuvian, Fassait etc. gebildet werden konnten. Man kann sich vorstellen, daß hier das Carbonat als Fällungsmittel für Stoffe dient, die in Form von heißen Lösungen von dem Tiefengestein während seiner Erstarrung abgegeben werden. Hierher gehören namentlich auch Lagerstätten von Eisenoxydmineralen und Sulfiden von Schwermetallen.

Über die krystallin. Schiefer: Becke, Denkschr. d. Wiener Akad., Bd. 75, S. 1 (1903). Grubermann, Die krystallin. Schiefer, 2. Aufl., Berlin 1910. V. M. Goldschmidt, Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet, Kristiania 1911.

219. Bildungen durch Dämpfe. Wenn man von der beständigen Kondensation der Wasserdämpfe in der Atmosphäre, von der Bildung des Regens und des Schnees absieht, so kommen hier vorzugsweise die vulkanischen Emanationen in Betracht. Die Fumarolen der Vulkane enthalten außer Wasserdampf, Stickstoff, Sauerstoff auch Salzsäure HCl , Schwefeldioxyd SO_2 , Schwefelwasserstoff H_2S , Kohlendioxyd CO_2 , zuweilen auch Flußsäure HF , ferner Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe. Beim Zusammentreffen von schwefeliger Säure und Schwefelwasserstoff entsteht Schwefel, $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} = 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$. Fumarolen mit Schwefelabsatz werden Solfataren genannt. Als Sublimationsprodukte finden sich an Vulkanen außer Schwefel auch Steinsalz NaCl , Salmiak NH_4Cl , Eisenchlorid FeCl_3 . Durch die Wirkung der Salzsäure auf das Nebengestein werden auch andere Chloride, z. B. Chlorcalcium, CaCl_2 , und am Vesuv in kleinen Mengen auch PbCl_2 , CuCl_2 , CoCl_2 , NiCl_2 etc. gebildet. Durch Einwirkung der schwefeligen Säure und des Sauerstoffes auf die Gesteine entstehen Sulfate, z. B. Calciumsulfat CaSO_4 , Natriumsulfat Na_2SO_4 , Aluminiumsulfat etc. Bei den herrschenden hohen Temperaturen werden die Chloride häufig durch den Wasserdampf zerlegt und es bilden sich Oxyde, z. B. Eisenglanz Fe_2O_3 , welcher in glänzenden Flittern oder in tafelförmigen Krystallen auf der Lava oder in Spalten derselben gefunden wird. $2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}$. Hier wird also die Salzsäure wiederum gebildet, regeneriert. Durch Einwirkung der vulkanischen Kohlensäure auf die gebildeten Oxyde bilden sich ferner Carbonate, wie Na_2CO_3 , CaCO_3 .

Auf der Oberfläche der Lava und der kleinen bei der Eruption gebildeten Lavafetzen und Lavastückchen (Lapilli) finden sich zuweilen neugebildete Silikate, wie Leucit, Augit, Hornblende, ferner Oxyde, wie Tridymit, Quarz. Man nennt dieselben öfter Sublimationsprodukte, obgleich sie vielleicht richtiger als Umbildungen und Regenerationen der in der Lava enthaltenen Minerale anzusehen sind. Bunsen hat die Zersetzungen und Umbildungen, welche durch vulkanische Gase veranlaßt werden, als Pneumatolyse bezeichnet. Somit können die genannten Mineralbildungen als pneumatolytische zusammengefaßt werden.

Erdbrände, durch Selbstentzündung von schwefelkieshaltigen Kohlenlagern hervorgerufen, liefern öfter ähnliche Bildungen wie die Vulkane, z. B. Schwefel, Realgar AsS , Arsenit As_2O_3 , Salmiak NH_4Cl .

Alle diese durch Dämpfe bewirkten Absätze sind zwar interessante Mineralbildungen, doch haben dieselben für die Bildung der Erdrinde keine allgemeine Bedeutung, weil sie nur an vereinzeltten Punkten der Erdoberfläche vorkommen. Immerhin zeigen manche der krystallinischen Erzvorkommen, besonders die Zinnerzlagerstätten, gemäß Vogts Ansicht eine Analogie mit pneumatolytischen Bildungen.

Lit. Bunsen, Pogg. Ann., Bd. 83, S. 241. Ch. S. C. Deville, Bull. soc. géol., 1856, S. 606. Roth, Chem. Geologie, Bd. 1, S. 412. Vogt, Zeitschr. f. prakt. Geologie, 1895, S. 145. A. Brun, Recherches sur l'Exhalaison volcanique, Genf 1911.

220. Lösung. Viele Minerale bilden sich aus wässrigen Auflösungen, und zwar nach der Regel, daß immer diejenige Verbindung abgesetzt wird, welche unter den gegebenen Umständen am schwersten löslich ist. Die so entstandenen Minerale widerstehen hierauf am kräftigsten den Angriffen des Wassers und wässriger Lösungen. Daher stellt Bischof an die Spitze seines epochemachenden Werkes den Satz, daß in der Erdrinde stets diejenigen Stoffe miteinander vereinigt vorkommen, welche die am schwersten lösliche Verbindung geben.

Die Minerale zeigen verschiedene Abstufungen der Löslichkeit, doch zeigt auch eine und dieselbe Substanz verschiedene Grade, je nachdem sie amorph oder krystallinisch ist, und zwar löst sich die amorphe Modifikation im allgemeinen leichter auf. Bei Versuchen ist es daher nicht immer gleichgültig, ob man die künstlich erhaltene Verbindung, die oft ganz oder zum Teil amorph ist, oder ob man das krystallisierte und gepulverte Mineral anwendet. Letzteres wird im folgenden durch Anführung des Mineralnamens angezeigt.

Für viele natürliche Vorgänge ist die Löslichkeit in reinem Wasser maßgebend, von welcher hier einige Beispiele. 100 Teile reinen Wassers lösen auf:

Chlorkalium	KCl	32·88	Gewichtsteile bei 15° C (Page)
Chlornatrium	NaCl	35·68	" " 15 " (Möller)
Chlormagnesium	MgCl ₂	50·70	" " 15 " (Mulder)
Kaliumcarbonat	K ₂ CO ₃ ·H ₂ O	24·40	" " 10 " "
Natriumcarbonat	Na ₂ CO ₃ ·H ₂ O	8·30	" " 10 " "
Kaliumsulfat	K ₂ SO ₄	10·30	" " 15 " "
Natriumsulfat	Na ₂ SO ₄	16·28	" " 18 " (Diacon)
Gyps	CaSO ₄ ·2H ₂ O	0·205	" " 18 " (Marignac)
Strontiumsulfat	SrSO ₄	0·0145	" " — " (Fresenius)
Baryumsulfat	BaSO ₄	0·0002	" " — " "
Calciumcarbonat	CaCO ₃	0·0248	" " — " (Anderson)
Calcit	CaCO ₃	0·0025	" " — " "

Die Wässer vermögen demnach die zuerst genannten Salze, die sich oft im Boden finden, aufzulösen und fortzuführen. Auch der Gyps ist noch verhältnismäßig leichter löslich, daher in Gypslagern durch eindringende Wässer oft Höhlungen (Gypsschlotte) hervorgebracht werden.

Heteromorphe Minerale sind ungleich auflöslich. F. Kohlrausch und F. Rose erhielten auf indirektem Wege für Aragonit und Calcit die Zahlen 0·0015 und 0·0013, wonach der Calcit schwerer löslich, also beständiger ist.

Die Auflöslichkeit wird sehr von der Temperatur beeinflusst, weniger vom Drucke. Für die Mehrzahl der Minerale steigt die Auflöslichkeit mit der Temperatur, doch gibt es Ausnahmen, wie beim Gyps, von dem nach Hullet und Allen bei 18° 0·2016 bei 100° 0·1620 Teile gelöst werden. Wöhler fand, daß der Apophyllit, welcher ein wasserhaltiges Silikat ist, bei 180° bis 190° und einem Drucke von 10 bis 12 Atmosphären von Wasser in kleinen Mengen gelöst wird. Beim Erkalten wurden wiederum Apophyllitkrystalle abgesetzt.

Daß hier der Druck keine Rolle spielt, wurde von Spezia gezeigt, welcher fand, daß bei gewöhnlicher Temperatur Apophyllit nicht gelöst wird, auch wenn der Druck auf 1750 Atmosphären getrieben wird.

In geringem Maße werden alle Minerale durch Wasser aufgelöst. Die wasserfreien Silikate werden schwer angegriffen und nicht als solche gelöst, sondern zersetzt [229]. Der Quarz ist am schwersten löslich, eine Zahl dafür ist noch nicht mit einiger Sicherheit ermittelt.

221. Wasser, welches Kohlensäure absorbiert enthält, wirkt auf die Minerale im allgemeinen anders als reines Wasser. Der größte Unterschied zeigt sich bei den Carbonaten. Kalkspat, Magnesit, Eisenspat etc. sind im reinen Wasser außerordentlich schwer löslich, während sie von kohlensäurehaltigem Wasser in erheblichen Quantitäten, und zwar, wie man annimmt, als Bicarbonate aufgenommen werden, also Calcit als $H_2O \cdot CaO \cdot 2CO_2$ u. s. w.

10.000 Teile kohlensäurehaltigen Wassers lösen von :

Kalkspat	$CaCO_3$	10·8	Gewichtsteile (Schlösing)
Dolomit	$CaMg2CO_3$	3·1	„ (Cossa)
Magnesit	$MgCO_3$	1·2	„ „
Eisenspat	$FeCO_3$	7·2	„ „

Hieraus erklärt sich die Bildung von Kalkhöhlen infolge der Auflösung durch die im Kalkstein zirkulierenden Gewässer, welche immer freie Kohlensäure enthalten. Im Karstgebiete, wo viele Bäche versinken und ihren Lauf im Kalkgebiete fortsetzen, ist der Boden von Kalkhöhlen durchzogen. Wichtig ist die größere Angreifbarkeit des Kalksteines gegenüber dem Dolomit, welcher oft zurückbleibt, wofür ein Gemenge von Kalkstein und Dolomit den Quellwässern ausgesetzt ist. Demnach entsteht bisweilen reiner Dolomit durch Auszehrung des dolomitischen Kalksteines. Kalksteine, welche Ton, Eisenoxyd oder andere unlösliche Beimengungen enthalten, hinterlassen dieselben bei der Auflösung als Ablagerungen auf der Oberfläche oder in den Höhlungen. Der gewöhnliche dichte Kalkstein ist im kohlensäurehaltigen Wasser leichter löslich als der krystallinische, daher die im Kalkstein gewöhnlich enthaltenen Adern von Kalkspat durch Einwirkung solcher Wässer stark hervortreten und zuletzt zellige Gewebe darstellen (Zellenkalk).

Bei höherem Drucke löst das kohlensäurehaltige Wasser mehr von den Carbonaten auf als bei gewöhnlichem Druck, und in dieser Beziehung zeigt sich dasselbe Verhalten wie bei dem reinen Wasser. Anders ist es mit dem Einflusse der Temperatur. In der Wärme löst das kohlensaure Wasser weniger Carbonate

auf als bei niedriger Temperatur. Dies zeigen die Versuche von Engel und Ville mit künstlich dargestelltem Magnesiumcarbonat. 10.000 Gramm kohlenensäurehaltigen Wassers lösten bei:

	Druck	Temperatur	Gramme	Druck	Temperatur	Gramme
1	Atmosphäre.....	19·5 ⁰	2·579	751 mm	13·4 ⁰	2·845
3·2	Atmosphären	19·7	3·730	762 „	29·3	2·195
5·6	„	19·2	4·620	764 „	62·0	1·035
7·5	„	19·5	5·120	765 „	82·0	0·490
9	„	18·7	5·659	765 „	100	0·000

Während also eine gewöhnliche wässrige Lösung, welche gesättigt ist, beim Abkühlen einen Absatz bildet, würde eine Lösung von Carbonaten in kohlenensäurehaltigem Wasser unter denselben Umständen keinen Niederschlag liefern.

Die Verbindungen, deren Löslichkeit zuvor angegeben wurde, sind meistens solche, welche in den Quellwässern gefunden werden. Die Stoffe, aus welchen jene Verbindungen bestehen, müssen demnach in den Tiefen, aus welchen die Quellen kommen, in irgend einer Form verbreitet sein. Versuche, wie sie zuerst von Struve angestellt wurden, haben gezeigt, daß durch Behandlung des Pulvers verschiedener Gesteine mit kohlenensäurehaltigem Wasser Lösungen erhalten werden, welche dieselbe Zusammensetzung wie manche Quellen zeigen. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, daß die löslichen Stoffe der Gesteine von der Gebirgsfeuchtigkeit aufgenommen und den Quellen zugeführt werden. Der Vorgang stellt sich so dar, als ob einige Bestandteile des Gesteines ausgeschieden und von der Seite her in die Quellenstränge geleitet würden; er erscheint somit als eine Lateralsekretion der löslichen Stoffe.

Die Menge des Gelösten ist aber in manchen Quellen so groß, daß dadurch eine solche Beschaffenheit der Tiefe angedeutet ist, welche mit der Zusammensetzung der Erdoberfläche nicht übereinstimmt. Ein Beispiel sind die Karlsbader Quellen, welche jährlich enorme Quantitäten von Glaubersalz in Lösung emporbringen. Ferner ist bisweilen in dem Gelösten eine Verbindung so überwiegend vertreten, daß man auf das Vorhandensein einer großen Menge des entsprechenden Mineralen schließen muß. Bei Solquellen, wie z. B. bei denen von Staßfurt, haben in der Tat Bohrungen die Herkunft der Quellen von Salzlagern bewiesen.

Die gasförmigen Stoffe der Quellen lassen sich hingegen in vielen Fällen durchaus nicht aus dem Gestein ableiten, sie müssen daher aus unbekanntem Tiefen emporsteigen, also durch Aszension in die Quellenspalten gelangen. Es ist namentlich der Gehalt an Kohlensäure und an Schwefelwasserstoff, welcher den Quellen vulkanischer Gegenden zukommt und welcher auf die chemische Tätigkeit des Erdinneren hinweist.

Lit. Bischof, Lehrb. d. chem. u. phys. Geologie, Bd. 1. Roth, Allgem. Geologie, Bd. 1. Brauns, Chemische Mineralogie, S. 76 und 396. Engel u. Ville, Comptes rend., Bd. 93, S. 340, Bd. 100, S. 444. Spezia, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 32, S. 511, Referat. Dölter in Tschermaks Mineralog. u. petr. Mitteil., Bd. 11, S. 319; Karlsbader Quellen: Ludwig und Mauthner, ebenda, Bd. 2, S. 269. Tschermak, ebenda, Bd. 22, S. 80.

222. Niederschlagsbildung. Eine Lösung, welche so viel von einer Substanz enthält, als davon löslich ist, erscheint bezüglich dieser Substanz gesättigt. Eine solche Lösung wirkt aber doch wiederum lösend auf andere Substanzen. Eine gesättigte Steinsalzlösung vermag Bittersalz aufzulösen. Solche Lösungen, welche mehrere Substanzen zugleich enthalten, werden komplizierte Lösungen genannt. Ist eine solche gesättigt, so enthält sie, wenn die Salze bezüglich des Metalles oder bezüglich des elektronegativen Bestandteiles gleichartig sind, von jeder einzelnen Substanz weniger, als wenn diese allein in Lösung wäre. Daraus folgt, daß eine gesättigte Lösung, welche mit neuen Substanzen in Berührung kommt, einerseits von diesen etwas auflösen, anderseits von den bisher darin enthaltenen etwas absetzen wird. Wenn eine gesättigte Lösung von Fe CO_3 , Zn CO_3 , Mg CO_3 in kohlensäurehaltigem Wasser mit Calcit Ca CO_3 zusammentrifft, so löst sie etwas von dem Calcit auf, während die vorher genannten Carbonate als Niederschlag abgesetzt werden.

Da von den meisten Substanzen bei höherer Temperatur mehr gelöst wird als bei niederer, so werden sowohl einfache als komplizierte gesättigte Lösungen beim Abkühlen einen Absatz oder Niederschlag bilden.

Die im Gestein zirkulierenden Gewässer sind häufig bezüglich einer oder mehrerer Substanzen gesättigte Lösungen. Bei der allmählichen Bewegung im Gestein kommen dieselben oft mit neuen Substanzen in Berührung, beim Aufsteigen der Wässer aus den tiefer gelegenen wärmeren Regionen in die höhergelegenen nimmt die Temperatur sowie der Druck ab, daher wird in beiden Fällen häufig eine Niederschlagsbildung erfolgen.

Bei der Wanderung im Gestein wird eine Lösung öfter mit einer davon verschiedenen zusammentreffen und es werden sich nicht selten Substanzen begegnen, welche infolge einer chemischen Wechselwirkung schwerlösliche Verbindungen bilden. Lösungen von Natrium- oder Kaliumcarbonat geben beim Zusammentreffen mit calciumhaltigen Wässern einen Niederschlag von Calciumcarbonat. Lösungen von Kalium- oder Natriumsilikat werden beim Zusammentreffen mit Wässern, welche Kohlensäure oder Bicarbonate führen, zerlegt und es wird Kieselsäure abgeschieden, während Carbonate sich bilden. Minerale, welche im Gestein enthalten sind, können durch wechselseitige Zersetzung einen Niederschlag bewirken. Aus Lösungen, welche Kieselsäure oder Eisenoxydsalze enthalten, wird durch Calcit die Kieselsäure, beziehungsweise Eisenhydroxyd gefällt. Demnach werden vielfach die Bedingungen erfüllt sein, unter welchen die im Gestein zirkulierenden Gewässer daselbst Absätze bilden.

Die Lösungen, welche als Quellen an die Erdoberfläche gelangen, können hier durch Verdunsten einen Niederschlag liefern oder nach Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes, durch den Einfluß lebender Organismen oder durch die Wirkung von Organismenresten die Bildung von Mineralen veranlassen.

223. Absätze der Quellen. Um den Ursprungsort der Quellen bilden sich öfter Absätze verschiedener Art.

Die heißen Quellen auf Island, den Azoren, auf Neuseeland, in den Rocky Mountains und andere, welche reich an aufgelöster Kieselsäure sind, liefern einen

Sinter von welliger Oberfläche, deutlicher Schichtung und von der Zusammensetzung des Opals. Zuweilen bilden sich Überzüge und in den Höhlungen des Kieselsinters auch Tropfsteine. Selten bemerkt man an diesen kleine Quarzkrystalle, wie z. B. im Sinter von Furnas, Azoren.

Ungemein zahlreich sind die Absätze von Kalkcarbonat im Bereiche warmer und kalter Quellen. Die heißen Quellen von Karlsbad, Nauheim, Wiesbaden u. a. m. erzeugen beständig Argonit in mannigfachen Formen. In Karlsbad hat sich vor Zeiten eine ausgedehnte Ablagerung mit Höhlungen gebildet, die Sprudelschale, welche aus faserigem, im Bruche gebändert aussehendem Argonit (Sprudelstein) besteht. Die Farbe rührt von Eisenoxyd her. Stellenweise findet sich Erbsenstein, durch vielfache Überzüge von Sandkörnern oder Gasbläschen im bewegten Wasser und durch schließliche Verkittung der zu schwer gewordenen Kügelchen entstanden. Sehr viele kalte Quellen setzen Calcit als Kalksinter ab, auch bilden sich nicht selten Calcit-Erbsensteine oder Pisolithe. Durch Sickerwässer, welche in Höhlungen eindringen, wird häufig die Bildung von Tropfsteinen veranlaßt. An diesen kann man die Sinterbildung genau verfolgen. Das herabtropfende Wasser ist eine Lösung von Kalkcarbonat in kohlenensäurehaltigem Wasser. Durch Entweichen der Kohlensäure, welche die Bedingung des Gelöstseins war, in die Luft nimmt das Calciumcarbonat wiederum die starre Form an. Jeder Tropfen setzt eine kleine Menge von Calcit ab, unzählige Tropfen hinterlassen hängende Zapfen (Stalaktiten) oder bauen am Boden ragende Kegel (Stalagmiten). Beide vereinigen sich zuweilen zu Säulen. Außerdem erzeugen die Sinterbildungen häufig Überzüge auf dem Gestein oder sie erscheinen als Bindemittel von Bruchstücken desselben.

Von den Carbonaten, welche zuweilen als Absatzbildungen erscheinen, sind Zinkblüte und Zinkspat zu nennen, welche in Zinkerzgruben entstehen, ferner Weißbleierz, welches in Bleierzgruben in ähnlicher Weise wie der Kalksinter gebildet wurde.

Die eisenhaltigen Quellen bringen das Eisen meist in der Form von Eisenoxydulcarbonat $\text{FeO} \cdot \text{CO}_2$, welches in kohlen-saurem Wasser gelöst ist, an die Erdoberfläche. Beim Austreten an die Luft würden solche Quellen die genannte Verbindung als Siderit $\text{FeO} \cdot \text{CO}_2$ absetzen können. Der atmosphärische Sauerstoff zerlegt jedoch die Verbindung, welche in Limonit $2 \text{Fe}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2 \text{O}$ verwandelt wird, während CO_2 entweicht. Daher bilden solche Quellen Absätze von Eisenerker, welcher ein lockerer Limonit ist. Darin findet sich öfter auch Manganoxyd, durch Zerlegung von Mangancarbonat gebildet, ferner zuweilen Eisenphosphat, Eisenarseniat etc.

Von Sulfaten erscheint häufig Gyps als Absatz von Quellwässern, zuweilen auch Baryt. Dieser z. B. am Abflusse der Solquellen des Leopolder Ganges bei Lautenthal im Harz. Sulfide finden sich in Quellenmündungen als Sinterbildungen, so z. B. häufig Eisenkies, seltener Blende, als Absatz von Grubenwässern Bleiglanz. In den Sulphur banks in Kalifornien wird als Absatz heißer Quellen Zinnober gefunden.

Schwefel bildet sich als Absatz von Schwefelquellen, die Schwefelwasserstoff enthalten, sehr häufig. Die Ausscheidung des Schwefels erfolgt durch Einwirkung

des aus der Luft absorbierten Sauerstoffs $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$. Beispiele sind die Absätze der Quellen von Deutsch-Altenburg und Baden bei Wien, Ofen, Weilbach, Aachen. Im Yellowstone-Park der Vereinigten Staaten werden als Absätze heißer Quellen Schwefel, Auripigment, Realgar beobachtet.

Sehr viele Quellen setzen eine Mischung ab, in welcher die einzelnen Minerale nicht erkennbar sind. Die chemischen Analysen dieser Bildungen lassen schließen, daß außer den zuvor genannten Mineralen auch viele andere abgesetzt werden. Nebst den aufgezählten Stoffen wurden auch häufig Aluminium, Silicium, Titan, Bor, Fluor, ferner Strontium, Barium und Metalle, wie Blei, Kupfer, Nickel, Arsen, Antimon u. a. darin gefunden. Daß die entsprechenden Minerale sich nicht in deutlicher Form und Sonderung ausbilden können, davon ist die verhältnismäßig rasche Bildung des Niederschlages beim Austreten der Quellen Ursache.

Lit. in Bischof, Lehrb. der phys. u. chem. Geologie, Bd. 1, S. 527. Roth, Allgem. u. chemische Geologie, Bd. 1, S. 532. Daubrée, Les eaux souterraines aux époques anciennes, Paris, 1887.

224. Bildungen der Tiefe. Jene drusigen Auskleidungen, Krusten und Füllungen, welche früher als Mineralgänge bezeichnet wurden [200], sind als die Absätze aufsteigender Quellwässer anzusehen. Die Gründe, welche dafür sprechen, sind hauptsächlich folgende:

Die Gangspalten haben den Charakter von Quellenspalten. Es kommt beim Bergbaue häufig vor, daß jene Spalten mit Wasser gefüllt angetroffen werden. Das Aussehen der Krusten und Füllungen, sowohl der einfachen als der geschichteten, ist genau dasjenige, welches die Krystallisationen zeigen, die auf künstlichem Wege aus wässerigen Lösungen dargestellt werden. Die Stoffe, welche in den Mineralen der Gangspalten vorkommen, sind fast sämtlich in den Wässern aufsteigender Quellen nachgewiesen worden. Von den Verbindungen, welche diese Stoffe liefern können, sind auf den Mineralgängen jene in größter Menge vertreten, welche im Wasser am schwersten löslich sind. Unter den Gangmineralen sind Pseudomorphosen sehr häufig, und zwar solche, deren Bildung nur durch die Einwirkung von wässerigen Lösungen erklärt werden kann. In den unveränderten Mineralen finden sich häufig Einschlüsse, welche wässrige Lösungen enthalten. Die Minerale der Gangspalten stimmen mit denjenigen, welche in den Quellenmündungen gefunden wurden, in allen Stücken überein. So z. B. gleicht der Baryt aus den Abzweigungen der Karlsbader Quelle in den Flächenkombinationen und im Habitus vollständig dem Baryt der Erzgänge von Felsöbánya. Auch die Beobachtungen Daubrées sprechen dafür, welcher die in Mündungen warmer Quellen (Bourbonne, Plombières etc.) abgesetzten Verbindungen prüfte und die größte Ähnlichkeit mit Gangmineralen konstatierte, obgleich die enthaltenen Stoffe zum Teil aus der Mauerung, aus den Metallröhren und von alten Münzen herstammten. Die Absätze der vorgenannten heißen Quellen der Sulphur banks, welche aus Zinnober, Opal, Pyrit, Kupferkies etc. bestehen, stimmen mit Gangbildungen überein, da sie Auskleidungen von Klüften und Imprägnationen des Nebengesteines bilden.

Deutliche Absätze, besonders aber Krystalle, können sich begreiflicherweise nur dort bilden, wo das emporsteigende Wasser bloß eine sehr geringe Geschwindigkeit hat. Bei großer Geschwindigkeit würde jeder Niederschlag fortgespült. Man kann daher sagen, daß reiche Quellen, welche an der Oberfläche der Erde Absätze bilden, in der Tiefe wenig absetzen, und daß nur spärlich fließende oder an der Oberfläche nicht bemerkbare warme Wässer die Bilder der Mineralgänge sein können.

Die Frage, woher die letzteren jene Stoffe beziehen, welche sich in den Gangspalten absetzen, wurde von Forchhammer dahin beantwortet, daß alle diese Stoffe aus dem Nebengestein herkommen, also durch Lateralsekretion in die Spalten gelangen, während andere Forscher die Ansicht verteidigten, daß jene Stoffe zum Teil mit den aufsteigenden Quellen aus unbekannter Tiefe kommen, also durch Aszension an ihren Platz gelangen.

Durch umfangreiche Untersuchungen erkannte F. Sandberger, daß in den Silikaten, welche in Gestein, besonders aber in den eruptiven Felsarten vorkommen, außer den gewöhnlichen und wesentlichen Stoffen, wie Si, Al, Ca, Na, auch andere, wie Ba, Pb, Cu, As etc., also auch jene Stoffe, die auf den Erzgängen eine Rolle spielen, in sehr kleinen Quantitäten enthalten seien. Damit ist aber, wie Stelzner ausführlich zeigte, die Bildung der Erzgänge durch Lateralsekretion keineswegs wahrscheinlich gemacht, weil die Schwermetalle auch durch Quellwässer aus der Tiefe gebracht und im Gestein verteilt worden sein können, und andererseits die auf Erzgängen bisweilen in großer Menge auftretenden Schwermetalle nicht von jenen geringen Spuren ableitbar sind. Ein Beispiel dafür ist das Erzvorkommen von Příbram [200]. Außerdem hat Vogt darauf hingewiesen, daß dieselbe Paragenese: Quarz mit Bleiglanz, Blende und Kiesen, sowohl in den verschiedensten Silikategesteinen als auch im Kalkstein in Gängen auftritt, was deutlich gegen Lateralsekretion spricht.

Es ist am wahrscheinlichsten, daß beide Vorgänge zusammenwirken, wie dies schon bei der Bildung der Quellwässer bemerkt wurde [209].

Demgemäß darf angenommen werden, daß die Gebirgsfeuchtigkeit aus dem Gestein Verbindungen aller darin vorkommenden Stoffe, darunter auch lösliche Silikate auszieht und bei dem langen Verweilen konzentrierte Lösungen bildet. Diese werden in den Wässern der Spalten diffundieren, welche zwar nur verdünnte Lösungen enthalten, jedoch aus der Tiefe Kohlensäure und Bicarbonate, öfter auch Verbindungen von Schwermetallen, ferner Schwefelwasserstoff und Sulfate emporbringen. Durch Wechselwirkung der löslichen Silikate mit der freien Kohlensäure entstehen Quarz und Carbonate [222], durch Einwirkung des Schwefelwasserstoffs und der löslichen Sulfide auf die Metallverbindungen bilden sich unlösliche Sulfide der schweren Metalle, die Sulfate verursachen einen Absatz von Baryt u. s. w.

Auf solche Weise würde sich nicht nur die Form und Zusammensetzung der Mineralgänge, sondern auch das häufige Vorkommen derselben in der Nähe von Eruptivgesteinen und in denselben erklären, da letztere sehr oft von Quellen begleitet sind, welche Kohlensäure und Schwefelwasserstoff enthalten [219].

Da Gangspalten oft mit Absonderungsklüften kommunizieren, ferner öfter auf durchlässige Sedimente treffen werden, so kann die Bildung von Gangmineralen auch dorthin verpflanzt werden; folglich dürfen solche Trümer und Imprägnationen, welche die gleichen Minerale enthalten, die auf Gängen vorkommen, von derlei Kommunikationen abgeleitet werden.

Lit. Bischof, Jahrbuch f. Min., 1848, S. 257, und Lehrbuch d. phys. und chem. Geologie, Bd. 2. F. Sandberger, Untersuchungen über Erzgänge, 1881 u. 1885. Daubrée, Synthet. Studien zur Experimentalgeologie. Stelzner, Die Lateralsekretionstheorie und ihre Bedeutung für das Pibramer Ganggebiet, Freiberg, 1889. Vogt, Zeitschr. für prakt. Geologie, 1902, S. 8, ferner die früher [202] genannten Werke über Erzlagerstätten.

225. Produkte der Bodenwässer. Die in den Gesteinen allgemein verbreiteten sekundären Bildungen, welche außerhalb der in die Tiefe reichenden Spalten vorkommen, sind nach allen einschlägigen vergleichenden Beobachtungen durch die Wirkung der wässerigen Lösungen entstanden, welche sich in den oberen Regionen der Erdrinde gebildet haben und nicht aus großen Tiefen emporgestiegen sind.

Hierher gehören die neugebildeten Krystalle und Krystallgruppen im Ton, Mergel, Sand, die Bindemittel der Konglomerate und Sandsteine, ferner alle jene Imprägnationen, Trümerbildungen, Füllungen und Auskleidungen, welche nicht als Fortsetzungen von Mineralgängen erscheinen.

Der genetische Unterschied, welcher zwischen Mineralgängen und den übrigen Neubildungen gemacht wird, zeigt sich bisweilen deutlich dort, wo Erzgänge bloß durch schmale Klüfte mit Trümern in Verbindung stehen. In solchen Fällen reichen die Mineralbildungen des Erzganges häufig bloß in den Anfang der seitlichen Klüfte, während weiterhin jene Minerale angesiedelt sind, welche ihrer Zusammensetzung nach aus dem Nebengestein abgeleitet werden können. Ein Beispiel gibt die Fig. 517 auf S. 358 wieder.

Die hier in Betracht kommenden Absätze sind demnach Produkte der Lateralsekretion [221]. Die Minerale, welche dieselben bilden, stehen in einem einfachen stofflichen Zusammenhange mit jenen des Nebengesteines, oder sie stimmen in der Zusammensetzung mit denselben überein. Dies zeigt sich an den Kalkspattrümern des dichten Kalksteines, an den Trümern von Kalkspat und von Quarz in den Sandsteinen und Tonschiefern, an den Quarztrümern der krystallinischen Schiefer, an den Auskleidungen und Füllungen der sogenannten Mandelsteine durch Achat, Quarz, Kalkspat und Zeolithe. Aber auch die Drusen und Füllungen von Bergkrystall, Adular, Glimmer, von Albit, Chlorit, Epidot, Apatit und vielen anderen Mineralen, welche im Granit, Gneis und anderen krystallinischen Schieferen auftreten, sind als Bildungen durch Lateralsekretion zu betrachten, wengleich hier eine Grenze gegenüber den Mineralgängen schwer anzugeben ist. Da wir uns die Ursache dieser Bildungen auch gegenwärtig fortdauernd denken, so müssen wir auch zugeben, daß alle die genannten Krystallisationen wenn auch an anderen Stellen der Erdrinde auch jetzt noch fortdauern, also immer noch neue Krystalle gebildet, alte vergrößert werden [214].

Die beständige Trümerbildung im Kalkstein leitet sich demnach daraus ab, daß die eindringenden kohlensäurehaltigen Wässer allmählich eine gesättigte Lösung von Kalkbicarbonat bilden, und daß diese die Fähigkeit hat, den dichten, leichter angreifbaren Kalkstein zu lösen und gleichzeitig einen krystallinischen, schwer löslichen Kalkspat abzusetzen, was wiederum der Tendenz entspricht, die schwerst löslichen Produkte zu bilden.

In den Kieselgesteinen werden sich häufig Silikatlösungen bilden, und es wird der krystallinische Absatz öfter aus Silikaten bestehen, wofern die Lösungen nicht durch freie Kohlensäure oder durch Bicarbonate zersetzt werden. In letzterem Falle würde bloß Quarz gebildet. Dadurch ist es erklärlich, daß in den Erzgängen, bei deren Bildung freie Kohlensäure oder Bicarbonate ins Spiel kommen, im allgemeinen Silikate selten vorkommen, Quarz aber ungemein verbreitet ist.

226. Mineralbildung in Seen und aus dem Meere. Unter jenen Absätzen, welche sich in Lösungen bilden, sind die Salzbildungen mancher Seen die großartigsten. In stehenden Gewässern können sich nur dann solche Absätze bilden, wenn die Wässer konzentrierte Lösungen sind und wenn die Verdampfung stärker ist als der Zufluß. Im freien Meere, dessen Wasser zwar reich an Salzen ist, aber keine konzentrierte Lösung darstellt, können keine derlei Absätze gebildet werden. Seen mit Abfluß gestatten ebensowenig eine solche Salzbildung, wohl aber kann dieselbe in Seen ohne Abfluß und in Lagunen, aber nur in wärmeren Klimaten eintreten.

Hierher gehören die Salzseen im Gouvernement Astrachan, welche in der Zahl von über 2000 in der Steppe verstreut sind. Diese dem Kaspisee benachbarte Steppe ist ein ehemaliger Meeresboden, welcher aus dem Meerwasser stammende Salze in feiner Verteilung enthält. An der Küste des Kaspisees entstehen durch Abschließung von Meeresteilen noch immer neue Salzseen. Der bedeutendste der alten Salzseen ist der Eltonsee von 250 Quadratkilometer Oberfläche. Das Wasser ist eine konzentrierte Lauge, worin außer Chlornatrium eine überwiegende Menge von Magnesiumchlorid, Magnesiumsulfat und Chlorkalium enthalten ist. Im Sommer setzt sich zuerst etwas Gyps, dann reichlich Steinsalz ab, im Winter auch Bittersalz, welches jedoch im folgenden Sommer wieder gelöst wird. Jedes Jahr bildet sich an den Rändern und am Boden des Sees eine Salzschiebe, welche früher Gegenstand einer regelmäßigen Salzgewinnung war. In der Nähe des Sees erstreckt sich eine Salzablagerung mit vielen Zwischenschichten von Ton. Ähnliche Verhältnisse zeigen auch die anderen Seen des Gebietes. An der Westküste des Kaspisees, in der Krim, am Aralsee, finden sich derlei Seen gleichfalls häufig. Ein merkwürdiges Beispiel ist ferner das Tote Meer, das eine Salzlauge darstellt, welche nebst Chlornatrium eine überwiegende Menge von Magnesium- und Calciumchlorid, ferner Chlorkalium und Gyps enthält. In dem abgesetzten Schlamm erscheinen Krystalle von Steinsalz und Gyps. In Persien, wo der Urmiahsee der größte Salzsee ist, ferner in Tibet und im nördlichen Afrika sind Salzseen gleichfalls nicht selten. In Amerika sind der große Salzsee in Utah und seine kleineren Nachbarn

entsprechende Beispiele. An den Rändern derselben bilden sich beständig Krusten von Steinsalz und es sind daselbst Salzgärten in Betrieb.

Etwas anders erfolgt der Absatz von Steinsalz in manchen Lagunenseen, d. i. an flachen Küsten gebildeten Buchten, die vom Meere zum Teil oder ganz abgeschnürt sind und zur Flutzeit immer wieder Salzwasser erhalten. In diesen konzentriert sich die Salzlösung öfters bis zur Abscheidung von Steinsalz. Der Vorgang wird bei der Gewinnung von Salz in den Seesalinen oder Salzgärten nachgeahmt. In manchen Lagunen scheiden sich auch andere Salze aus. Im Golf von Karabugas, am Rande des Kaspisees, wird im zentralen Teile Gyps und Glaubersalz abgesetzt.

Die Beobachtung der genannten Salzabsätze und die Resultate chemischer Untersuchungen setzen uns in den Stand, die Bildung jener Salzlager, welche den sedimentären Gesteinen eingelagert sind und früheren Epochen angehören, mit großer Wahrscheinlichkeit zu erklären.

Am meisten haben dazu die umfangreichen Untersuchungen van't Hoff's und seiner Mitarbeiter beigetragen, durch welche die Bildungsweise der einzelnen in den Salzlagern vorkommenden Verbindungen und die Bedingungen ihrer Paragenesis ins volle Licht gesetzt wurden.

Die Natronseen zeigen häufig Absätze, in welchen Natriumcarbonate wie Thermonatrit und Trona vorherrschen. Beispiele sind der Vansee in Westarmenien, mehrere Seen in Mexiko, Nevada und der Owensee in Kalifornien. Im ungarischen Tieflande bilden sich an manchen Orten Ausblühungen von Soda, gemengt mit Chlornatrium, Gyps, Glaubersalz. In den Gegenden des Suezkanales finden sich Bitterseen, welche außer Kochsalz viel Bittersalz enthalten.

Die Boraxseen im westlichen Tibet und in Kalifornien nördlich von San Francisco, welche mit warmen Quellen in Verbindung stehen, setzen am Boden Krusten von Borax oder im Schlamme große, einzelne schwebend gebildete Boraxkrystalle und andere Borate ab.

Lit. G. Bischof, Phys. und chem. Geologie, Bd. 2, S. 47. F. Bischof, Die Steinsalzwerte von Staßfurt, 2. Aufl., 1875. Oehsenius, Die Bildung der Steinsalzlager etc., Halle, 1877. Roth, Allgem. und chem. Geologie, Bd. 1, S. 547. Pfeiffer, Zeitschr. f. d. Hütten- u. Salinarwesen, 1885. J. van't Hoff, Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Braunschweig, 1905. Derselbe: Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen herausgeg. v. H. Precht und E. Cohen, Leipzig 1912.

227. Mineralbildungen, veranlaßt durch Organismen. Der Übergang von Substanzen aus dem Zustande der Lösung in den starren Zustand wird häufig durch lebende Organismen oder durch organische Überreste hervorgerufen, so daß ein großer Teil dessen, was jährlich der festen Erdrinde zugeführt wird, auf Rechnung des Einflusses von Organismen kommt.

Am großartigsten ist die Abscheidung von Kalkcarbonat durch die Lebens-tätigkeit der Meerestiere. Unzählige Riffe und Inseln in den Meeren der Tropenzone werden von Korallentieren aufgebaut und vergrößert. Dana und Darwin haben den Vorgang ausführlich geschildert. Die Ablagerung der Schalen von Mollusken, Echinodermen etc. führt zur Bildung der Muschelbänke in der

Nachbarschaft des Festlandes. Die Erforschung der Tiefsee hat gezeigt, daß beständig Schichten eines kreideähnlichen Kalksteines durch Foraminiferenreste gebildet werden.

Das Meerwasser enthält Calcium in größerer Menge [212]. Durch den Lebensprozeß der Meerestiere wird in den Schalen und festen Körperteilen unlösliches Kalkcarbonat abgesetzt. G. Rose hat gezeigt, daß dasselbe zum größeren Teile Kalkspat, zum kleineren Teile Aragonit sei.

Da sehr viele Kalksteine Überreste von Meerestieren enthalten, andere ganz und gar aus solchen zusammengesetzt sind und alle Übergänge von diesen zu dichtem Kalkstein vorkommen, so hat sich die Ansicht entwickelt, daß auch die dichten Kalksteine, welche in mächtigen Ablagerungen auftreten, zoogene, d. i. durch tierische Organismen gebildete Meereskalke seien.

Im Meere kommen auch Algenvegetationen vor, welche als Nulliporen oder Lithothamnien bezeichnet werden, und welche sich durch Ausscheidung von Kalkcarbonat in der äußeren Membran fortwährend inkrustieren. Auf solche Weise wachsen ebenfalls Riffe und Kalkbänke. Ein Teil der Kalksteine läßt durch die Textur deutlich diesen Ursprung erkennen, daher man auch phytogene, d. i. durch die Tätigkeit von Pflanzen veranlaßte Meereskalksteine unterscheidet. Der Vorgang der Abscheidung scheint derselbe zu sein wie bei der Bildung des Kalktuffes.

Am Ursprung von Quellen und in Bächen, welche reich an Kalkbicarbonat sind, inkrustieren sich häufig Algen, Moose und andere Pflanzen mit Kalkcarbonat, was zur Bildung löcheriger Kalksteine führt, welche als Kalktuff bezeichnet werden. Wie Cohn zeigte, erklärt sich der Vorgang daraus, daß die Pflanzen, welche zu ihrer Ernährung der Kohlensäure bedürfen, diese dem Bicarbonat entnehmen, wodurch es zu unlöslichem Carbonat wird und sich auf den Pflanzen absetzt. Auch der Absatz der heißen Quellen von Karlsbad, von Nauheim u. a., der aus Aragonit besteht, läßt Algenvegetationen erkennen.

Kalkphosphat wird nicht selten in der Form von Wirbeltierknochen, welche phosphorsauren und kohlen-sauren Kalk enthalten, dem Boden einverleibt, wodurch Anlaß zur Bildung anderer Phosphate gegeben ist. Auch die als Guano bezeichneten Ablagerungen von Exkrementen enthalten Phosphate, welche durch Infiltration in das benachbarte Gestein Gelegenheit zu Neubildungen geben.

Kieselerde wird im amorphen Zustande im Meere durch viele Spongien, Rhizopoden, Radiolarien abgeschieden. Die Bildung von Hornsteinbänken und von Feuersteinknollen wird auf diese Tätigkeit zurückgeführt. Auf dem Festlande werden in dem sumpfigen Boden mancher Gegenden durch Ablagerung der Überreste von Diatomeen, welche zierliche Kieselpanzer von mikroskopischer Kleinheit bilden, erdige Schichten abgesetzt. Kieselguhr und Polierschiefer bestehen aus derlei Überresten. Auch in Meerbusen und an flachen Seeküsten werden Reste von Diatomeen und Radiolarien abgelagert. Der Absatz von Kieselsinter (Geiserit) an den heißen Quellen im Yellowstone-Park erfolgt nach Weed durch den Einfluß von Algen und Moosen.

Auch die Entstehung des Raseneisensteins, welcher ein stark verunreinigtes Brauneisenerz ist, rührt nach Senft von der chemischen Wirkung der Pflanzen-

reste her. Die organischen Säuren, welche von denselben ausgeschieden werden, lösen das dem benachbarten Sande anhaftende Eisenoxyd und bilden damit Verbindungen, die schleimige Überzüge darstellen. Der organische Teil der letzteren zersetzt sich allmählich in Kohlensäure und Wasser, das Eisenhydrat bleibt in Schichten zurück. Die Bildung der See-Erze in Schweden wird nach den Beobachtungen von Ehrenberg, Stapf u. a. von der Tätigkeit niederer Organismen (Algen, Bakterien) abgeleitet, welche innerhalb ihres Körpers Brauneisenerz abscheiden.

Die Ablagerung kohligter Pflanzenreste läßt sich in Gegenden, wo die Torfbildung noch fortschreitet, beobachten. Hier werden die Reste von Pflanzen durch die Wasserbedeckung vor der raschen Verwesung geschützt, jedoch durch Verlust von Wasserstoff und Sauerstoff, welche in der Form von Wasser ausgeschieden werden, in dunkelgefärbte Produkte verwandelt. Daß die Braunkohlen auf ähnliche Weise entstanden sind, wird durch die meistens deutliche Pflanzentextur bewiesen. In den Steinkohlen sind Pflanzenformen vielfach durch mikroskopische Beobachtungen erkannt worden. Der Anthracit wird ebenfalls von Pflanzenresten abgeleitet.

In dem verwesenden Weichkörper von Foraminiferen, in Seeigelstacheln etc. bilden sich öfter kleine Pyrithäufchen. Pflanzenreste bringen in eisenhaltigen Wassern häufig einen Niederschlag von Eisenbisulfid hervor. In schilfreichen Sümpfen und Teichen bildet sich daher oft ein schwarzer Eisenbisulfid enthaltender Schlamm. In Ton-schichten, welche an Düngergruben grenzen, wurde die Entstehung von Pyritadern beobachtet. G. Bischof beobachtete, daß Wasser, welches ein Sulfat, z. B. schwefelsaures Natrium, ferner ein wenig von einem Eisensalz enthält, mit Holzfasern in einem Gefäße eingeschlossen, mit der Zeit schwarze Flocken von Pyrit absetzt. Die Holzfaser entzieht dem Sulfat Sauerstoff, das entstandene Schwefelnatrium bewirkt den Niederschlag von Schwefeleisen. Die Pyritbildung erfolgt also durch eine Reduktion. Dadurch wird das häufige Zusammenvorkommen von Pyrit und Markasit in Braunkohle, von Pyrit in Steinkohlen erklärt, ferner die Erscheinung, daß in verschiedenen Gesteinen, sobald dieselben organische Überreste führen, Pyrit, mitunter auch Kupferglanz und andere Sulfide vorkommen.

Daß auch die Bildung von salpetersauren Salzen im Boden durch den Einfluß von niederen Organismen erfolgt ist durch neuere Beobachtungen wahrscheinlich geworden.

Lit. J. D. Dana, Corals and Coral Islands, New York, 1872. Ch. Darwin, Bau- und Verbreitung der Korallenriffe, Stuttgart, 1876. Cohn, Jahrb. für Min., 1864, S. 580. Ramann, Organogene Bildungen der Jetztzeit, Jahrb. f. Min., Beilageband 10, S. 119. Senft, Die Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen, Leipzig, 1862. H. Potonié, Die Entstehung der Steinkohle und verwandter Bildungen einschließlich des Petroleums. 4. Aufl., Berlin 1907. Bischof, Lehrbuch der chemischen u. phys. Geologie, 1. Aufl., S. 295. Roth, Allgem. u. chem. Geologie, Bd. 1, S. 596. Winogradsky, Botan. Zeitung, 46. Jahrgang, S. 262 (1888). Walther, Einleitung in die Geologie, Bd. 1, S. 661. Weed, American Journ. of sc. [3], Bd. 37, S. 351.

228. Veränderung der Minerale. In der äußersten Erdrinde werden durch die lösende Wirkung der zirkulierenden Tagewässer fortwährend Stoffe aufgenommen, an anderen Stellen des Gesteines abgesetzt oder in den Quellwässern an die Erd-

oberfläche gebracht, wobei der aus der Atmosphäre aufgenommene Sauerstoff und die Kohlensäure, die zum Teil von verwesenden Organismen herrührt, mitwirken. Demnach werden der Erdrinde beständig große Stoffmengen sowohl entzogen als auch zugeführt. Das Wasser zersetzt viele der vorhandenen Verbindungen und löst andere vollständig auf. Mit verschiedenen Stoffen beladen, vermögen die zirkulierenden Wässer Umwandlungen hervorzurufen oder neue schwerlösliche Verbindungen abzusetzen. In tieferen Regionen unterstützt der Gebirgsdruck die Wirkung des Wassers dadurch, daß beim Zerquetschen und Verschieben der Gesteinmassen fortwährend neue kapillare Klüfte gebildet werden, welche dem Wasser immer neue Bahnen öffnen. Er modifiziert wahrscheinlich auch das Ergebnis der Umwandlung dadurch, daß in größerer Tiefe unter dem dort herrschenden hohen Drucke oft eine andere Gruppierung der Stoffe eintritt als unter dem geringen Drucke in der Nähe der Erdoberfläche. Bei den in der Tiefe herrschenden Wärmegraden wird auch die Auflösungsfähigkeit des Wassers gesteigert, die Beweglichkeit der Teilchen vermehrt sein, wodurch Umsetzungen und Diffusionsströmungen begünstigt werden.

Diese Betrachtung leitet zur Erklärung der an der Erdoberfläche stattfindenden Verwitterungserscheinungen, der Verwandlung des Gesteines in der obersten Erdrinde, der Zerstörung und Neubildung auf Mineralgängen und macht es wahrscheinlich, daß in der Tiefe eine sehr allmählich verlaufende und fortdauernde Umwandlung der Gesteine stattfindet, welche sowohl in einer Veränderung der Struktur als in einer Umbildung der Minerale besteht. (Metamorphismus).

Mehr lokaler Natur sind die Veränderungen, welche durch die aus der Tiefe kommenden Gase und Dämpfe oder durch die hohe Temperatur beim Empordringen eruptiver Massen veranlaßt werden. Letztere kommen mit vorhandenen Mineralen oder Gesteinen in Berührung und bringen außer Neubildungen auch Umwandlungen und Strukturänderungen hervor.

229. Zersetzung. Man bedient sich dieses Ausdruckes häufig, um die eingetretene, aber noch nicht vollendete chemische Veränderung eines Minerals, ohne Rücksicht auf die entstandenen Produkte, zu bezeichnen. So spricht man von einem zersetzten Feldspat, wofern noch etwas von dem ursprünglichen Mineral bemerkbar ist, aber nicht erkannt werden kann oder nicht angegeben werden soll, welches Mineral aus demselben geworden ist.

Auch bei den Versuchen, chemische Veränderungen der Minerale herbeizuführen, begnügt man sich öfter mit der Tatsache, daß eine solche Veränderung begonnen habe, weil man bloß die Absicht hat, zu konstatieren, daß das Mineral unter den gegebenen Umständen veränderlich, daß es zersetzbar sei. Am wichtigsten sind die Erfahrungen an Silikaten wegen deren großer Verbreitung. Diese werden als feine Pulver von größeren Wassermengen zersetzt, die wasserstofffreien schwieriger, die anderen viel leichter.

Daubrée untersuchte die Wirkung des reinen Wassers auf Orthoklas $KAlSi_3O_8$. Stücke desselben wurden mit Wasser in einen Zylinder getan, durch dessen Rotation der Orthoklas zu Pulver zerrieben wurde. Während des achttägigen Versuches wurden 3 Prozent des Kaligehaltes aus dem Pulver extrahiert und wurde

auch Kieselsäure in Lösung gebracht. Kohlensäurehaltiges Wasser wirkte viel schwächer, da es weniger Kali auszog. Die Gebrüder Rogers fanden, daß Silikate wie Feldspat, Hornblende, Chlorit, Serpentin durch kohlensäurehaltiges Wasser angegriffen und daß davon 0·1 bis 0·4 Prozent gelöst werden. R. Müller untersuchte die Einwirkung von kohlensaurem Wasser auf mehrere Minerale, welche gepulvert und mit solchem Wasser in Flaschen eingeschlossen wurden. Die Kohlensäure war bei $3\frac{1}{4}$ Atmosphären Druck eingepumpt. Einige Beispiele der nach 7 Wochen erfolgten Zersetzung sind:

	Gelöst wurden	bestehend vorzugsweise aus
Orthoklas $K Al Si_3 O_3$	0·328 Prozent	$K_2 O$, dann $Si O_2$
Olivin $(Mg, Fe)_2 Si O_4$	2·111 „	$Fe O$, „ $Mg O$, $Si O_2$
Serpentin $(Mg, Fe)_3 H_4 Si_2 O_9$	1·211 „	$Mg O$, „ $Fe O$
Apatit $Ca_5 P_3 O_{12} Cl$	2·018	$Ca O$, „ $P_2 O_5$
Magnetit $Fe O \cdot Fe_2 O_3$	1·812	$Fe O$.

Die zersetzende Wirkung des Sauerstoffes auf oxydierbare Minerale läßt sich oft sehr leicht nachweisen, so z. B. beim Eisenspat, dessen Pulver, mit Wasser angerührt, an der Luft allmählich braun wird.

Die Wirkungsweise des Schwefeldioxyds SO_2 , welches bei den vulkanischen Eruptionen eine Rolle spielt [219], wurde von W. Schmidt geprüft. Das Schwefeldioxyd veranlaßt nicht so sehr direkt, als nach der Verwandlung in Schwefelsäure H_2SO_4 weitgehende Zersetzungen. Aus den verschiedenen Silikaten werden nicht nur $Mg O$, $Fe O$, $Ca O$, $Na_2 O$ etc. ausgezogen, sondern es wird auch viel $Al_2 O_3$ extrahiert.

Durch Schmelzen oder durch Eintauchen von Mineralen in heißflüssige Gesteinschmelze werden öfter Zersetzungen hervorgebracht. Hornblende gibt nach dem Schmelzen Augit. Granat verwandelt sich nach Descloizeaux durch Schmelzen in Augit und Anorthit. Hornblende wird nach Dölter und Hussak beim zweiten Versuche faserig und umgibt sich mit einer schwarzen Rinde, reich an Magnetit. In solchem Zustande findet sich die Hornblende nach Zirkel häufig in Eruptivgesteinen; auch der dunkle Biotit in solchen Gesteinen ist durch die Erhitzung zersetzt.

Lit. R. Müller, Tschermaks Mineralog. Mitt. 1877, S. 25. W. Schmidt, ebendas., 2. Folge, Bd. 4, S. 1. Daubrée, Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, S. 207. Descloizeaux, Manuel de Minéralogie, S. 277. Dölter und Hussak, Jahrb. f. Min., 1884, Bd. I, S. 26. A. Becker, ebendas. 1883, Bd. II, S. 1.

230. Aufnahme und Abgabe von Stoffen. Die eingetretene Veränderung besteht öfter in einer bloßen Aufnahme von Substanz, so z. B. bei der Verwitterung des Eisenkieses FeS_2 , welcher an feuchter Luft durch Aufnahme von Sauerstoff und Wasser in Eisenvitriol $FeSO_4 + 7 H_2 O$ und in Schwefelsäure $H_2 SO_4$ übergeht, oder bei dem Schwarzwerden des Silbers durch Einfluß des Schwefelwasserstoffes, wobei Schwefelsilber $Ag_2 S$ entsteht. Durch Aufnahme von Wasser zerfließen

(deliqueszieren) manche Salze an der Luft, z. B. der Carnallit, $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, welcher sich dabei in Clorkalium und in Clormagnesium zerlegt.

Durch Verlust von Substanz verändern sich viele wasserhaltige Salze, indem sie verstäuben [86]. Krystalle von Soda, Glaubersalz, Bittersalz verlieren in trockener Luft ihren Wassergehalt ganz oder teilweise und zerfallen. Ein Beispiel von Wasserverlust ist auch die Verwandlung von Gyps $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ in Anhydrit CaSO_4 , welche G. Rose an Pseudomorphosen erkannte, und welche Hoppe-Seyler experimentell verfolgte, indem er Gyps in einer Steinsalzlösung bis 130° erwärmte. Die Veränderung beginnt nach van't Hoff schon bei 30° .

231. Austausch. Die meisten chemischen Veränderungen der Minerale lassen sich auf einen Austausch von Stoffen zurückführen. Die Erklärung wird aber wesentlich erleichtert, wenn die Anführung jener Versuche vorausgeht, welche bisher angestellt wurden, um derlei Vorgänge an Mineralen zu veranlassen. Um die Erscheinungen in kürzerer Zeit hervorzurufen, ist es meist nötig, den Prozeß durch Wärme zu beschleunigen. Das Mineralpulver wird längere Zeit hindurch mit den Lösungen in der Wärme behandelt, schwer veränderliche Minerale werden mit den Lösungen in Glasröhren eingeschlossen und diese höheren Temperaturen (bis zu 200°C) ausgesetzt.

Bei derlei Versuchen, welche besonders zahlreich von Lemberg ausgeführt wurden, zeigte sich oft sehr deutlich die Wirkung großer Massen, welche schon seinerzeit Berthollet hervorgerufen hat. Ein Stoff, der in kleinen Mengen angewandt einen Austausch nur bis zur Erreichung eines Gleichgewichtszustandes, also beschränkt hervorbringt, vermag, in immer erneuerter überwiegender Menge angewandt, andere Stoffe aus ihren Verbindungen schließlich ganz zu verdrängen.

Einige wichtige Versuche sind:

Austausch von Basen:

1. Kali gegen Natron und umgekehrt: Pulver von Leucit KAlSi_2O_6 mit einer Lösung von NaCl oder von Na_2CO_3 behandelt, liefert ein Produkt von der Zusammensetzung $\text{H}_2\text{NaAlSi}_2\text{O}_7$, welche dem Analcim entspricht. Letzteres Pulver, mit Lösungen von Kalisalzen behandelt, wird zurückverwandelt, bis es wieder die Zusammensetzung KAlSi_2O_6 hat.

2. Kalk gegen Magnesia: Kalkspat CaCO_3 mit MgCl_2 -Lösung behandelt, nimmt Mg auf und verliert Ca. Wollastonit CaSiO_3 mit ebensolcher Lösung behandelt, liefert ein Produkt von ungefähr der Zusammensetzung H_2MgSiO_4 . Hier wird demnach auch Wasser aufgenommen.

Austausch von Säuren:

3. Silikate liefern Carbonate: Monticellit CaMgSiO_4 wird durch Lösungen von kohlen-sauren Alkalien zerlegt, indem ein Magnesiumsilikat und CaCO_3 entstehen.

4. Verwandlung von Carbonaten in Silikate bei hoher Temperatur: Kalkspat CaCO_3 oder Magnesit MgCO_3 , mit einer Lösung von Alkalisilikat im geschlossenen Rohre erhitzt, liefern Ca- oder Mg-Silikat.

5. Verwandlung von Sulfaten in Carbonate: Gyps $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ mit einer Lösung von Na_2CO_3 behandelt, liefert CaCO_3 , und zwar bei 0° bis 15° Calcit, bei höherer Temperatur Aragonit, Baryt BaSO_4 liefert BaCO_3 .

6. Verwandlung von Chloriden und Fluoriden in Carbonaten: Atakamit $2\text{HO} \cdot \text{Cu}_2 \cdot \text{O} \cdot \text{HCl}$ mit einer Lösung von Natriumbicarbonat HNaCO_3 bei gewöhnlicher Temperatur behandelt, gibt Malachit $2\text{HO} \cdot \text{Cu}_2 \cdot \text{CO}_3$. Fluorit CaF_2 , mit Na_2CO_3 -Lösung in der Wärme behandelt, liefert Calcit CaCO_3 .

Lit. Bischof, Lehrb. d. chem. u. phys. Geologie, Bd. 1. Eichhorn, Poggendorffs Ann. Bd. 105, S. 126. Lemberg, Zeitschr. d. deutschen geolog. Gesellsch., Bd. 22, 24, 28, 29, 35, 37.

232. Fällung. Wenn der Austausch nicht bloß einen Teil der vorhandenen Verbindung betrifft, sondern sich auf die ganze Substanz erstreckt, so erscheint der Vorgang als die Fällung einer in Lösung vorhandenen Substanz durch das starre Mineral, welches gleichzeitig gelöst wird. Beispiele sind:

7. Fällung von Kieselsäure oder von Silikaten durch Carbonate: Wird eine Lösung von Kieselsäure durch Kalkspatpulver filtriert, so bleibt die Kieselsäure auf dem Kalkspat, der in entsprechender Menge gelöst wird. Ebenso verhält sich eine Auflösung von Alkalisilikat.

8. Fällung von Carbonaten durch Kalkspat: Wird Kalkspatpulver mit Lösungen von FeCO_3 , ZnCO_3 , MgCO_3 in kohlensaurem Wasser behandelt, so löst sich der Kalkspat auf, während jene Carbonate sich absetzen, da sie schwerer löslich sind. Vergl. S. 379.

9. Fällung von Eisenhydrat durch Kalkspat: Wird Kalkspat oder Aragonit in die Lösung von FeCl_3 gebracht, so fällt ein brauner Niederschlag von $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, während der Kalkspat gelöst wird. Bei Anwendung hohen Druckes erhielt Sénarmont bei diesem Versuche einen Niederschlag von wasserfreiem Oxyd Fe_2O_3 .

233. Bedeutung der Pseudomorphosen. Die zuvor angeführten Versuche zeigen, daß Minerale durch die in der Natur zirkulierenden Stoffe umgewandelt werden können. Daß aber die Minerale derlei Veränderungen tatsächlich erfahren, zeigen die sekundären Bildungen überhaupt, in exakter Form beweisen es die Pseudomorphosen. Die äußere Form derselben zeigt an, welches Mineral früher auf der Fundstätte vorhanden war, der Inhalt aber gibt an, welches Produkt bei der Veränderung jenes Mineralen entstanden ist. Damit ist der Anfangspunkt und das Endresultat des ganzen Vorganges bekannt. Die häufig vorkommenden unvollendeten Pseudomorphosen [69] lassen auch erkennen, daß der Vorgang der Veränderung ein allmählich fortschreitender gewesen sei. Welche Medien die Verwandlung hervorgerufen haben, läßt sich zwar nicht ebenso exakt bestimmen, doch erlaubt das Vorkommen der meisten Pseudomorphosen im Gestein und auf den Gängen keine andere Vermutung als die eine, daß wässrige Lösungen, also die natürlichen Wasser, die Wirkung ausgeübt haben. Damit ist die Art der Bildung erkannt und sind die ins Spiel kommenden Stoffe wenigstens im allgemeinen be-

stimmt. Nur wenige Pseudomorphosen, die an Punkten vulkanischer Tätigkeit vorkommen, sind als Resultate der Veränderung durch Schmelzung oder durch Einwirkung der schon früher genannten Gase und Dämpfe anzusehen.

Aus den vorhandenen Beobachtungen ergibt sich, daß Minerale aus fast allen Abteilungen pseudomorph auftreten, daß also wohl keine Abteilung von der sekundären Bildungsweise ausgeschlossen ist. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, daß auch Quarz, wasserfreie Silikate, wie Feldspate, Hornblenden, ferner Magnetit u. s. w., unter diesen sekundären Bildungen vertreten sind.

Die Versuche der Nachahmung von Pseudomorphosen gelingen öfter, namentlich wenn dem Experimente genügende Zeit eingeräumt wird. Krystalle oder Spaltungsstücke von Gyps werden an einem Faden in die warme Lösung von kohlenstoffsaurem Natrium gehängt. Sogleich trübt sich der Gyps, überzieht sich mit einer weißen Rinde, die Veränderung pflanzt sich in das Innere fort, und nach längerer Zeit ist der Gyps mit Beibehaltung der Form in Aragonit verwandelt. (Vergl. vorige Aufzählung Nr. 5.) Die Nachahmung der Pseudomorphose von Malachit nach Atacamit läßt sich ausführen, wenn die Krystalle des Atacamits durch einige Jahre in einer Lösung von doppeltkohlenstoffsaurem Natrium liegen bleiben (vergl. ebendas. Nr. 6). Schwieriger ist die Nachahmung der Pseudomorphose von Limonit nach Calcit (Nr. 9), weil die entstehende Bildung ziemlich locker ausfällt.

In vielen Fällen ist die Nachahmung des Vorganges nicht ausführbar, wofür das ursprüngliche Mineral nur sehr schwer veränderlich ist, folglich der Versuch sehr lange Zeiträume in Anspruch nehmen würde. Darin liegt aber hauptsächlich die Bedeutung der Pseudomorphosen, daß dieselben auch in einem solchen Falle den Beweis der eingetretenen Veränderung liefern, in welchem die uns zu Gebote stehenden Mittel unvermögend sind, einen ähnlichen Vorgang einzuleiten.

234. Einteilung. Die Pseudomorphosen werden nach ihrer Bildungsweise in zwei Abteilungen gebracht:

1. Umwandlungs-Pseudomorphosen, d. i. solche, bei deren Bildung die Substanz des ursprünglichen Minerals ganz oder teilweise erhalten bleibt.

Wenn aus einem Mineral ein neues entstanden ist, welches dieselbe Substanz wie das frühere darstellt, so kann eine bloße Umlagerung der Teilchen stattgefunden haben. Dieser Fall kann nur bei polymorphen Substanzen eintreten [175], wie dies bei der Pseudomorphose von Rutil nach Brookit angenommen wird, welche beide aus Titandioxyd TiO_2 bestehen. Scheerer hat solche Bildungen Paramorphosen genannt. Die Pseudomorphose von Calcit nach Aragonit, bei welcher früher an eine Umlagerung der Substanz $CaCO_3$ gedacht wurde, läßt aber nach v. Lasaulx erkennen, daß der Aragonit aufgelöst und in den entstandenen kleinen Höhlungen Calcit abgesetzt wurde.

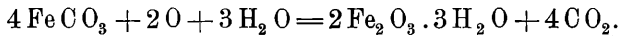
Die übrigen hiehergehörigen Pseudomorphosen sind jene, welche aus dem ursprünglichen Mineral durch Aufnahme, durch Abgabe oder durch Austausch von Stoffen entstanden sind.

Bei der Aufnahme von Stoffen wird auch das Volumen zunehmen, so daß die Form nur sehr unvollkommen erhalten bleibt, z. B. bei der Pseudomorphose von Silberglanz nach gediegen Silber. Pseudomorphosen dieser Abteilung sind nicht häufig.

Etwas größer ist die Anzahl derjenigen, welche durch Abgabe von Stoffen gebildet werden. Das Volumen wird sich in diesem Falle verringern, daher die so entstandenen Gebilde oft locker oder porös aussehen. Ein Beispiel sind die porösen Pseudomorphosen von gediegen Kupfer nach Rotkupfererz Cu_2O . Dieselben können, wie Knop gezeigt hat, dadurch nachgeahmt werden, daß man das Rotkupfererz mit verdünnter Schwefelsäure behandelt: $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cu} + \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Kupfersulfat geht in Lösung. Ähnlich verhält es sich mit der Pseudomorphose von Roteisenerz Fe_2O_3 nach Magnetit $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, wenn aus letzterem durch kohlen-saures Wasser das Eisenoxydul ausgezogen wird [229].

Am häufigsten sind die durch Austausch entstandenen Pseudomorphosen. Folgende Beispiele mögen hier genügen:

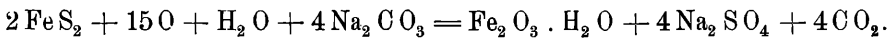
Siderit $\text{FeO} \cdot \text{CO}_2$, verwandelt in Limonit $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Man erklärt sich den Vorgang durch Einwirkung der Tagewässer, die eine Aufnahme von Sauerstoff und Wasser veranlassen, während CO_2 austritt:



Bleiglanz PbS , verwandelt in Weißbleierz PbCO_3 . Erklärlich durch die Einwirkung carbonatführender Tagewässer, z. B.:

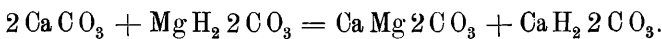
$\text{PbS} + 4\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{PbCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$. Das entstandene Natriumsulfat geht in Lösung.

Eisenkies FeS_2 , verwandelt in Göthit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Entsprechend dem vorigen Beispiele.

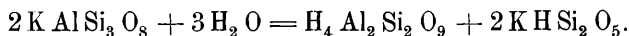


Gyps, verwandelt in Aragonit. Die Erklärung wurde in Nr. 5, S. 393, gegeben.

Calcit, verwandelt in Dolomit. Diese Pseudomorphose wird als durch Umwandlung entstanden erklärt, indem angenommen wird, daß eine Lösung von MgCO_3 in kohlen-säurehaltigem Wasser einwirkte und Calcium als Bicarbonat in Lösung trat:

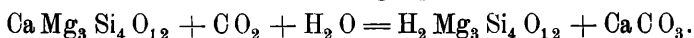


Orthoklas KAlSi_3O_8 , verwandelt in Kaolin $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$. Durch Einwirkung von Wasser und Austritt von saurem Kaliumsilikat zu erklären.



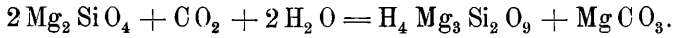
Das außer dem Kaolin entstandene Produkt wird durch das Wasser abgeführt. Wegen des großen Stoffverlustes ist die Pseudomorphose ungemein locker und porös.

Tremolit $\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$, verwandelt in Talk $\text{H}_2\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$. Die Umwandlung erscheint ziffermäßig als ein einfacher Vorgang:



Das gebildete Kalkcarbonat wird durch das einwirkende kohlen-säurehaltige Wasser gelöst.

Olivin, verwandelt in Serpentin. Der Einfachheit wegen soll für den Olivin bloß das Magnesiasilikat Mg_2SiO_4 , welches den größten Teil desselben bildet, in Betracht gezogen werden.



Auch hier wird das gebildete Carbonat häufig gelöst, zuweilen aber als dichter Magnesit abgesetzt.

Leucit $KAlSi_2O_6$, verwandelt in Analcim $H_2NaAlSi_2O_7$. Durch die früher genannten Versuche Lembergs erklärt.

2. Verdrängungs-Pseudomorphosen sind solche, bei deren Bildung die Substanz des ursprünglichen Mineralen vollständig entfernt wird. Das neugebildete Mineral verdrängt gleichsam das früher vorhandene. Das am häufigsten verdrängte Mineral ist Kalkspat. Beispiele sind:

Gyps in der Form von Steinsalz. Erklärt sich durch das Zusammentreffen einer gesättigten Gypslösung mit Krystallen von Steinsalz; welche von Ton umgeben waren. In dem Maße, als die Gypslösung Steinsalz auflöst, setzt dieselbe krystallinischen Gyps ab, hier wirkt also der Unterschied der Löslichkeit.

Eisenspat in Form von Kalkspat. Diese Pseudomorphose wird wie die vorige durch das Löslichkeitsverhältnis erklärt [221], sonst wurde dieselbe auch als Umwandlungs-Pseudomorphose aufgefaßt.

Quarz in der Form von Calcit. Da Kieselsäure durch Carbonate gefällt wird (S. 393, Nr. 7), so ist die Bildung dieser Pseudomorphose auch begreiflich. Wenn ferner Quarz in der Form von Gyps, Fluorit, Bleiglanz vorkommt, so hat man zwei Stadien anzunehmen, erstens die Umwandlung der letztgenannten Minerale in Carbonate, zweitens die Fällung der Kieselsäure durch dieselben.

Limonit oder Roteisenerz in der Form von Kalkspat. Erklärung S. 393, Nr. 9. Man nimmt gewöhnlich an, daß die aus Roteisenerz bestehende Pseudomorphose früher aus Limonit bestand und durch Wasserverlust den gegenwärtigen Zustand erlangt habe.

Außer den zuvor beim Quarz erwähnten Verdrängungs-Pseudomorphosen gibt es noch andere, welche mehrere Bildungsstadien haben. So z. B. kommen Pseudomorphosen von Limonit nach Kalkspat vor, die, nach deutlichen Merkmalen zu schließen, zuerst aus Kalkspat, hierauf aus Eisenspat bestanden. Die Umwandlung des letzteren führte erst zu dem gegenwärtigen Zustande.

235. Bildung der Versteinerungen. Die Bildung der Versteinerungen läßt sich auf ähnliche oder gleiche Vorgänge zurückführen wie jene der Pseudomorphosenbildung. Man unterscheidet wiederum zwischen Umwandlung und Verdrängung.

Die gewöhnlichen, aus kohlensaurem Kalk bestehenden tierischen Überreste sind als das Resultat einer Umwandlung durch Verlust der organischen Substanz anzusehen, die kohligen Versteinerungen sind als veränderte Pflanzenreste zu betrachten, die übrigen Versteinerungen und Vererzungen entsprechen zumeist einer Verdrängung.

Die aus Baryt, Eisenspat, Zinkspat, Chaledon bestehenden Versteinerungen haben die Form der früher erwähnten. Sie bestanden ehemals aus kohlen-saurem Kalk, der aufgelöst wurde, während die schwer löslichen Verbindungen an dessen Stelle traten.

Die aus Brauneisenerz und Roteisenerz gebildeten Vererzungen erklären sich wie die entsprechenden Verdrängungs-Pseudomorphosen; die aus Pyrit und Markasit bestehenden werden zumeist als Resultat einer durch organische Substanz veranlaßten Fällung angesehen. In der That sind es zumeist Pflanzenreste, welche durch jene Kiese imprägniert oder verdrängt erscheinen.

Die verkieselten Hölzer, welche aus Quarz, Chalcedon oder Opal bestehen, lassen sich als Resultat der Einwirkung eines Alkalisilikates auf die faulende Holzsubstanz betrachten, wobei letztere als huminsaures Alkali gelöst und Kieselsäure gefällt wurde. Nach Kuntze beginnt jedoch der Verkieselungsprozeß schon während der Lebensdauer der Bäume, indem durch die Wurzeln Kieselsäure aufgenommen und in der Pflanze verteilt wird.

Lit. über Pseudomorphosen und Versteinerungen: Blum, die Pseudomorphosen des Mineralreiches. Stuttgart, 1843, und die Nachträge 1847, 1852, 1863, 1879. Volger, Studien zur Entwicklungsgeschichte der Mineralien, Zürich, 1854. Ferner die früher genannten Werke von Bischof und Roth. Über Verkieselung: O. Kuntze, Geogenetische Beiträge, Leipzig, 1895.

236. Umwandlung des Gefüges. Dieselben oder ähnliche Veränderungen wie jene, welche die Pseudomorphosen darbieten, kommen auch in größerem Maßstabe, also an Gesteinen und Lagerstätten vor. Auch hier bleiben die Umrisse des Ganzen beiläufig oder vollständig erhalten, während der Inhalt eine Wandlung erfährt.

Eine häufig wiederkehrende Erscheinung ist die Veränderung der Textur ohne Änderung der Substanz, also ein der Paramorphose ähnlicher Vorgang. Man kann mehrere Fälle unterscheiden:

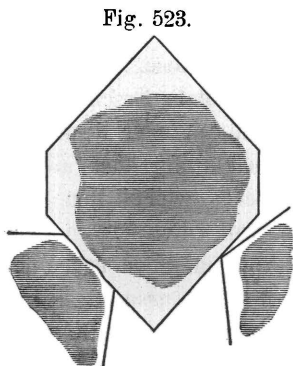


Fig. 523.
Durchschnitt eines Quarzkrystals aus dem Braunkohlen-Sandstein von Karlsbad, Böhmen. 10mal vergrößert.

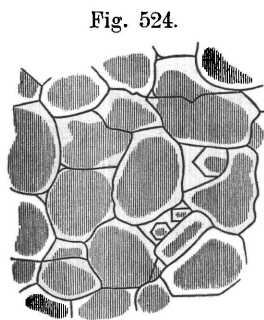


Fig. 524.
Durchschnitt einer Partie desselben Sandsteines 4mal vergrößert. Die ursprünglichen trüben Quarzkörner sind in beiden Figuren durch eine Schraffierung angezeigt.

1. Ein klastisches Aggregat verwandelt sich in ein krystallinisches. Als Beispiel kann die Verwandlung von Quarzsandstein in Quarzit dienen. Die Quarzkörner mancher Sandsteine zeigen ein Fortwachsen, indem neuerdings abgesetzter durchsichtiger Quarz an die Körner in paralleler Stellung angelagert wird und an freien Stellen Krystallflächen oder auch vollständige Krystall-

formen ausgebildet werden. Fig. 523. Dort aber wo die Quarzkörner enger aneinander liegen, nimmt das Fortwachsen ein Ende, sobald die Zwischenräume ausgefüllt sind, worauf das Ganze ein krystallinischkörniges Gefüge zeigt, Fig. 524. Auch Feld-

spatkörner und Partikeln anderer Silikate zeigen öfter die Erscheinung des Fortwachsens. Dadurch erklärt sich die Umbildung alter Sandsteine (Grauwacken) und Tonschiefer in kristallinische Felsarten.

2. Eine amorphe Masse wird kristallinisch. Diese Erscheinung, welche die Verwandlung von Obsidian, Perlit und Pechstein in feinkristallinische Massen betrifft, wurde schon früher [68] erwähnt.

3. Dichte Minerale und Gemenge nehmen ein deutlich kristallinisches Gefüge an. Ein Beispiel gibt dichter Kalkstein, welcher in der Nähe der Kontaktgrenze in körnigen Marmor verwandelt erscheint. [203]. In diesem Falle wird die Veränderung auf Hitzewirkung auf den mit Wasser durchtränkten Kalkstein zurückgeführt.

Andere Beispiele geben Steinsalz, Gyps, welche in den gegenwärtig gebildeten Absätzen der Salzseen fast dicht, in den älteren Ablagerungen deutlich kristallinisch bis grobkörnig erscheinen. Die Veränderung ist nachzuahmen, wenn man das Pulver löslicher Salze anfeuchtet und längere Zeit stehen läßt. Die Masse wird deutlich kristallinisch. Dem entspricht auch die Wahrnehmung, daß neugebildete Kalkabsätze gewöhnlich dicht erscheinen, während die Kalksteine der älteren Schichten kristallinisch sind. Die Änderung des Gefüges ist in den letzteren Fällen durch die Einwirkung der konzentrierten Lösung zu erklären [225]. Es entsteht sozusagen ein Kampf ums Dasein, indem von den ursprünglich vorhandenen Individuen die größeren wachsen, während die kleinen zurückbleiben oder aufgelöst werden.

Lit. Zirkel, Lehrb. d. Petrographie, Bd. 1, S. 158 u. 579. A. Knop, Jahrb. f. Min., 1874 S. 281. Irving, American. Journ. of science, 3. Serie, Bd. 25, S. 401. V. Ann., Report U. S. Geol. Survey, 1885, S. 218. Van Hise, American. Journ., Bd. 27, S. 399, und Bd. 33, S. 385. O. Lang, Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellsch., Bd. 33, S. 217. Judd, Journ. geol. Soc., Bd. 45, S. 175 (1880). Spring, Bul. acad. belgeique, classe des sciences, 1899, S. 790. Hulett, Zeitschr. f. phys. Chemie, Bd. 37, S. 385 (1901).

237. Umwandlung der Substanz. Die chemische Metamorphose, welche an den Umwandlungs-Pseudomorphosen erkannt wird, ist keine lokale Erscheinung, welche bloß an einzelnen Individuen und an einzelnen Fundstätten oder Mineralen eintritt, sondern dieselbe läßt sich in sehr verschiedener Ausdehnung fast allenthalben beobachten. Bisweilen sind es größere Mineralmassen, welche der Umwandlung unterliegen. Ein Beispiel ist die Umwandlung von Olivinfels in Serpentin, welche man an ausgedehnten und mächtigen Serpentinlagern erkennen kann. Bisweilen zeigt das Umwandlungsprodukt noch Reste des ursprünglichen Zustandes. So findet man in manchen Serpentinlagern noch Überreste des ursprünglichen Olivins; bisweilen ist die Umwandlung vollständig, aber die eigentümliche Maschenstruktur (S. 145) beweist die Entstehung aus Olivin. Es kann aber durch eine gründliche Änderung der Struktur auch dieses Merkmal verloren gehen, wie bei manchen Stöcken von Schuppen-Serpentin (Antigorit) in den Alpen.

Von besonderem Interesse sind manche mit großer Regelmäßigkeit auftretende Umwandlungserscheinungen, welche mit der Entstehungsweise der Gesteine zusammenhängen.

So sind in den Ergußgesteinen sehr häufig die Einsprenglinge von Hornblende und Biotit in ein Gemenge von Magnetit und Pyroxenkryställchen umgewandelt, während in gewissen Tiefengesteinen, namentlich in Dioriten und Gabbros häufig der umgekehrte Vorgang zu beobachten ist, und Pyroxenkrystalle eine mehr oder weniger weit vorgeschrittene Umwandlung in Hornblende erkennen lassen.

Im Zentralgneis der Tauern sind die Hornblenden bei ziemlich guter Erhaltung der Form in Biotit verwandelt, während die Plagioklase des Gesteins, die nach Analogie mit anderen ähnlichen Tiefengesteinen die Zusammensetzung von Andesin ($Ab_3 An_2$) (S. 329) gehabt haben dürften, unter Erhaltung der Krystallstruktur in Albit umgewandelt wurden unter gleichzeitiger Bildung zahlloser mikroskopischer Nadelchen von Epidot und Schüppchen von Muscovit. Der Kalifeldspat zeigt Verdrängung durch Albit. Der Biotit des Gesteins zeigt dagegen weniger Spuren von Umwandlung und der Quarz ist in seiner Substanz gar nicht verändert.

Solche chemische Änderungen innerhalb des Gesteins vollziehen sich häufig unter unerheblicher Zufuhr oder Wegführung von Stoffen, so daß die Gesamtzusammensetzung des Gesteins sich nur wenig oder gar nicht merklich ändert und nur durch Austausch innerhalb des Gesteins eine Neuordnung der Stoffe zu neuen Mineralen erfolgt, welche den Umständen, unter denen die Gesteinsmasse sich befindet, besser angepaßt sind.

Allbekannt sind derartige Umwandlungen bei welchen vorzugsweise wasserhaltige Verbindungen gebildet werden, z. B. die Verwandlung der Feldspate in Glimmer, Epidot, Zeolithe oder die Veränderung der Augite und Amphibole zu Glimmer oder zu Chlorit, des Olivins in Serpentin. Hier findet eine Aufnahme und Bindung von Wasser statt.

Man kennt aber auch Umwandlungen, welche wasserfreie Silikate liefern, wie die Verwandlung von Augit in Hornblende, von Olivin in Anthophyllit und Hornblende, von Leucit in Orthoklas und Nephelin.

238. Verwitterung. Jene Umwandlung, welche die Minerale unter dem Einflusse der Atmosphärrilien und der Tagewasser erleiden, pflegt man als Verwitterung zu bezeichnen. Die in der Atmosphäre und den Tagewässern enthaltenen wirksamen Stoffe: Sauerstoff, Kohlensäure, Wasser, verändern die Substanz vieler Minerale, worauf die entstandenen löslichen Verbindungen durch das Wasser weggeführt werden, die unlöslichen oder schwerlöslichen Zersetzungsreste aber zurückbleiben und später oft weggeschwemmt werden. Die Zersetzungsprodukte sind häufig wasserhaltige Kolloide und befinden sich, wenn eine Steigerung möglich war, gewöhnlich in dem höchstoxydierten Zustande. Die Zersetzung wird oft auch durch die Lebenstätigkeit der Organismen und durch die Humussäuren unterstützt, welche sich bei der Verwesung der Pflanzenreste im Boden bilden.

Die chemische Veränderung ist häufig von einer mechanischen Umgestaltung begleitet, weil durch das Zerfriren, durch Auflösung der als Bindemittel fungierenden Minerale u. s. w. der Zusammenhang des Gesteines aufgehoben wird und

gleichzeitig durch den Gebirgsdruck Verschiebung, durch das Wasser Abschwemmung und Umlagerung eintritt. Die Verwitterung hat also häufig die Zerkleinerung und den Transport des Gesteinmaterials zur Folge.

Bei der Verwitterung überwiegt bald die Oxydation, bald wieder die Auslaugung. Eine sehr häufige Oxydation ist die Verwandlung des Eisenspates in Limonit, ferner die Verwandlung des Pyrits und Markasits an der Luft in Eisenvitriol und Schwefelsäure, im Boden aber, welcher Carbonate enthält, in ein Brauneisenerz (S. 395). Eine Auslaugung ist die Verwandlung des Feldspates in Kaolin. Andere Minerale, wie Albit, Beryll, Glimmer, verwittern auch zu Kaolin, tonerdehaltiger Augit zu einem damit ähnlichen erdigen Mineral. Tremolit verwittert zu Talk (S. 395), ebenso der Bronzit, Diallag.

Wenn Tagewasser auf Klüften hinabsickern, so dringt die Verwitterung in etwas größere Tiefen. Der Weg, welchen die sauerstoffbringenden Wasser eingeschlagen haben, ist an den Oxydationsprodukten deutlich zu erkennen. Allmählich hört jedoch die Erscheinung auf, nachdem die herabsickernden Wasser allen freien Sauerstoff abgegeben und sich in Lösungen verwandelt haben, und es beginnt der Bereich jener Vorgänge, bei welchen mannigfache Umwandlungen ohne Oxydation eintreten. Erzgänge und Erzlagerstätten überhaupt erscheinen am Ausgehenden, d. i. sowohl an der Erdoberfläche als auch tiefer hinab, so weit der Einfluß der Tagewasser reicht, durch die Verwitterung stark verändert. Die hier gebildeten, meist unförmlichen Produkte nennt der Bergmann den Hut. Gänge und Lagerstätten, welche Eisenspat, Pyrit, Magnetkies führen, haben einen Hut von Brauneisenerz, einen „eisernen Hut“. Kupferkiesgänge tragen auch den eisernen Hut, jedoch ist er durchsetzt von basischen Kupfersalzen, wie Malachit, Azurit. Silbererzgänge haben einen Hut, in welchem der frühere Silbergehalt häufig als Hornsilber (Silberchlorid) abgeschieden ist.

239. Verdrängung. Auch die Erscheinungen der Verdrängung treten öfter in größerem Umfange auf, indem ganze Lagerstätten durch einen vollständigen Austausch gebildet erscheinen. Da der Kalkspat am häufigsten der Verdrängung unterliegt, so kommen die meisten in solcher Weise entstandenen Lagerstätten im Kalkstein oder an der Grenze des Kalksteins vor; zuweilen ist der Kalkstein ganz verschwunden und dessen frühere Gegenwart nur aus der Beschaffenheit der Neubildung erkennbar.

Hierher gehören die früher [203] genannten Kontaktbildungen im Kalkstein und viele Lagerstätten von Magnesit, Eisenspat, Zinkspat, Brauneisenerz, Roteisenerz, auch von Manganerzen, ferner die Bleiglanz- und Blendelagerstätten im Kalkstein, welche oft von Dolomit begleitet sind. Der Beweis der geschehenen Verdrängung läßt sich öfter durch Pseudomorphosen oder Versteinerungen, häufiger aber durch die Erscheinungen an den Grenzen der Lagerstätte führen. Hier sind es namentlich bestimmte Übergänge, ferner die Spuren des Eindringens der Neubildung in die Absonderungen des Gesteines und die Merkmale der eingetretenen Auflösung des Kalksteines, welche den Vorgang erraten lassen. In Eisenspatlagerstätten wird Übergang zum Kalkstein häufig durch den calcium- und eisenhaltigen Ankerit gebildet.