LEHRBUCH

DER

MINERALOGIE

VON

MAX BAUER.

MIT 588 HOLZSCHNITTEN.

BERLIN UND LEIPZIG.
VERLAG VON J. GUTTENTAG
(D. COLLIN).
1886.

Zur Beachtung.

Verfasser und Verleger behalten sich alle Rechte vor.

FRANZ ERNST NEUMANN

IN KÖNIGSBERG I. PR.

ZU SEINEM SECHSZIGJÄHRIGEN DOKTORJUBILÄUM

IN DANKBARKEIT UND VEREHRUNG

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Vorrede.

Das vorliegende Lehrbuch soll dazu dienen, den Leser in das wissenschaftliche Studium der Mineralogie nach ihrem neuesten Standpunkt einzuführen. Dasselbe kann zum Studium neben einer mineralogischen Vorlesung benützt werden, aber auch ohne eine solche zum Selbststudium, wobei allerdings vorausgesetzt werden muss, dass eine, wenngleich nicht nothwendig umfangreiche Sammlung der wichtigsten Mineralien, Krystallmodelle, Präparate und Instrumente zur Verfügung steht, ohne deren sachgemässe Benützung ein tieferes Eindringen in die Mineralogie unmöglich ist.

Dem Zweck des Buches entsprechend ist der allgemeine und einleitende Theil desselben ziemlich ausführlich behandelt.

Zunächst sind darin die Lehren der Krystallographie eingehend dargestellt. Der Verfasser hat sich dabei nicht auf eine Beschreibung der Krystallformen beschränkt, sondern er hat sich bemüht, den Leser zu einem wirklichen Verständniss derselben gelangen zu lassen, soweit dies ohne umfangreiche mathematische Behandlung möglich ist.

Den physikalischen Eigenschaften der Mineralien wird heutzutage eine ganz besondere Wichtigkeit beigelegt. In dem Abschnitt über Mineralphysik wurde im allgemeinen die Kenntniss der Physik, soweit sie etwa in einer guten Universitätsvorlesung über Experimentalphysik dem Zuhörer übermittelt wird, als bekannt vorausgesetzt. Nur diejenigen physikalischen Lehren sind etwas ausführlicher behandelt worden, welche für die speciellen Zwecke der Mineralogie besondere Bedeutung haben und welche zuweilen in den Lehrbüchern der Physik nicht in der für den Mineralogen wünschenswerthen Ausführlichkeit dargestellt werden, wie z. B. die Farbenerscheinungen in den Krystallen im polarisirten Licht etc. Als bekannt vorauszusetzende Gegenstände wurden

nur in soweit kurz berührt, dass der ganze Abschnitt über Mineralphysik an einem fortlaufenden Faden dargestellt werden konnte. Grössere theoretische Ausführungen, wie z. B. die Erklärung der Interferenzerscheinungen in Krystallen und Aehnliches wurden vermieden. In Bezug hierauf und überhaupt in Bezug auf die einschlägigen physikalischen Lehren sei auf die ausführlicheren Lehr- und Handbücher der Physik verwiesen.

In dem Abschnitt über Mineralchemie wurden die Lehren der Chemie, besonders der unorganischen als bekannt vorausgesetzt und es wurde im allgemeinen Theil hauptsächlich nur die chemische Zusammensetzung der Mineralien im allgemeinen, ihr Verhalten vor dem Löthrohr, sowie gegen Wasser, Säuren und andere Lösungsmittel, endlich namentlich die Lehren des Isomorphismus und Dimorphismus eingehender behandelt. Die Zusammensetzung der Mineralien wurde durch die empirischen Formeln, sowie nicht selten durch die älteren gruppirenden Formeln dargestellt. Dabei wurden die zwei Metallatome in den Sesquioxyden (und entsprechend in den empirischen Formeln) in bekannter Weise mittelst durchstrichener Buchstaben bezeichnet, zur leichteren Unterscheidung der Metallatome in den Monoxyden derselben Metalle, besonders beim Eisen.

Bei der Betrachtung der chemischen Verhältnisse der Mineralien im allgemeinen wurde schliesslich auch gebührende Rücksicht genommen auf die Art und Weise, wie die Mineralien entstehen, wie sie unter den verschiedenartigen von aussen auf sie einwirkenden natürlichen Einflüssen umgewandelt und wie sie endlich unter Umständen auch ganz zerstört werden, um anderen Mineralien zur Entstehung Veranlassung zu geben. Dabei durfte die Art und Weise des natürlichen Vorkommens der Mineralien in der Erdkruste nicht übergangen werden, das nicht nur an sich wichtig und interessant, sondern auch zur Beurtheilung der Entstehung der Mineralien von grösster Bedeutung ist. Es wurden daher in dem die Mineralien behandelnden Abschnitt des einleitenden Theiles einige Paragraphen über die allgemeinen Verhältnisse des Vorkommens der Mineralien eingefügt.

In allen Abschnitten wurde die Betrachtung nach Möglichkeit auf das Thatsächliche und das Beobachtete beschränkt und die Hereinziehung des rein Hypothetischen thunlichst vermieden.

Die weniger wichtigen Abschnitte des allgemeinen Theils

sind von den wichtigeren durch kleineren Druck unterschieden; klein gedruckt sind auch Beispiele zu allgemeineren Sätzen, längere Beschreibungen von Instrumenten und Aehnliches. Der Anfänger wird sich zunächst mit dem genaueren Studium des Grossgedruckten begnügen können. Im speciellen Theil sind die Beschreibungen der wichtigen und häufigen Mineralien gross, die der unwichtigeren und selteneren ebenfalls klein gedruckt. Der Anfänger kann die letzteren überschlagen. Eine Anzahl solcher unwichtigen Mineralien ist nur mit wenigen Worten im Text erwähnt, eine Anzahl anderer ist wenigstens in dem ausführlich gehaltenen alphabetischen Mineralverzeichniss am Schluss mit einem kurzen erläuternden Zusatz aufgeführt. Das Buch kann daher auch bis zu einem gewissen Grade als Nachschlagebuch benützt werden.

Die Mineralien organischen Ursprungs sind mehr anhangsweise und auch kurz behandelt, sowie durchaus mit kleinen Lettern gedruckt. Dass der Bernstein etwas ausführlicher beschrieben worden ist, wird in einem Buche, das zum allergrössten Theil in der Hauptstadt des Bernsteinlandes, in Königsberg i/Pr., entstanden ist, nicht auffallend erscheinen.

Das Register zerfällt in zwei getrennte Hälften, eine für die allgemeinen einleitenden Abschnitte und eine zweite, ein Mineralienregister, für den speciellen, beschreibenden Theil des Buches.

Im § 3 findet man eine Uebersicht über die wichtigsten selbständig erschienenen Werke der mineralogischen Litteratur. Dieselben sind nach Fächern und innerhalb jedes Faches chronologisch geordnet. Es wurde dabei bis zum Anfang dieses Jahrhunderts zurückgegangen. Absolute Vollständigkeit wurde nicht erstrebt. Ebensowenig ist dies der Fall mit den Litteraturnachweisen, namentlich aus Zeitschriften, welche den einzelnen Paragraphen und Mineralbeschreibungen angehängt sind. Bezüglich dieser war anfänglich grössere Vollständigkeit geplant und auch z. Th. ausgeführt. Die Durchführung dieser Absicht hätte aber zu viel Raum beansprucht, und so fand später eine Beschränkung auf das Wichtigste statt. In Folge davon sind die Litteraturangaben bei den einzelnen Paragraphen und Mineralien etwas ungleichförmig, die grössere Ausführlichkeit in einzelnen Punkten wird aber dem Buch wohl nicht zum Schaden

gereichen. Im allgemeinen ist das Princip verfolgt, dass aus der citirten Litteratur jedes Gegenstandes die andere nicht citirte möglichst vollständig ersehen werden kann; zu diesem Zweck sind mehrfach an sich unbedeutende Arbeiten angeführt worden, wenn in ihnen die ältere Litteratur in hervorragender Weise berücksichtigt worden ist. Aus den Litteraturangaben sind auch die Namen derjenigen Forscher zu entnehmen, welche sich mit den betreffenden Gegenständen vorzugsweise eingehend beschäftigt haben. Im Texte selbst sind deren Namen nur ausnahmsweise genannt.

Die 588 Figuren sind mit geringen Ausnahmen neu construirt; nur eine kleine Zahl ist aus anderen Werken copirt, so z. B. die Abbildungen einiger Instrumente aus dem: „Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879".

Die sehr mühsame Correctur ist mit der dankenswerthen Unterstützung des Herrn Dr. R. Brauns hier ausgeführt worden, welcher auch das Register für den allgemeinen Theil angefertigt hat. Einige stehengebliebene sinnstörende Druckfehler wolle man vor der Benützung des Buches verbessern.

Die Fertigstellung des Buches hat, durch mannigfache Hindernisse unterbrochen, sehr lange Zeit in Anspruch genommen. Es konnten daher manche wichtige in den letzten Jahren erschienene Arbeiten theils gar nicht mehr, theils nur in ungenügender Weise bei der Correctur benützt werden.

Möge es dem Verfasser trotzdem gelungen sein, ein Werk zu schaffen, welches den Eingangs angegebenen Zweck zu erfüllen im Stande ist.

Besonderen Dank würde derselbe denjenigen Fachgenossen entgegenbringen, welche ihn auf die beim Gebrauche des Buchs sich ergebenden Mängel und Irrthümer aufmerksam machen wollten.

Marburg, Neujahr 1886.

Max Bauer.

Inhaltsübersicht.

Einleitung. 1. Mineralien. 2. Mineralogie. 3. Litteratur.

Allgemeiner Theil.

I. Abschnitt. Krystallographie.

A. Begriff des Krystalls.

4. Krystallisirt, amorph. 5. Individuum. 6. Krystall, derb.

B. Begrenzungselemente.

a. Flächen. 7. Flächenparallelismus. 8. Flächenbeschaffenheit (vgl. 108, 109). 9. Einfache Krystallformen, Combinationen. 10. Offene, geschlossene Formen.

b. Kanten. 11. Allgemeines. 12. Flächenwinkel. 13. Anlegegoniometer. 14. Reflexionsgoniometer, Theorie. 15. Wollaston'sches Goniometer. 15a. Goniometer mit horizontalem Kreis. 16. Gleiche Kanten.

c. Ecken. 17. Ecken.

C. **Gesetze, nach welchen die Begrenzungselemente angeordnet sind.**

a. Das Gesetz der Winkelconstanz. 18. Winkelconstanz. 19. Parallelverschiebung der Flächen. 20. Winkel verschiedener Substanzen. 21. Ideale Krystallformen.

b. Gesetz der rationalen Kantenschnitte. 22. Kantenschnitte. 23 u. 23a. Rationale Kantenschnitte. 24. Mögliche Krystallflächen. Krystallreihe. 25. Beispiel (Kieselzinkerz). 26. Axen, Parameter. 27, Rationale Axenschnitte. 28. Spezielle Flächenausdrücke. 29. Parallele Gegenflächen. 30. Axensystem. 31. Flächenausdruck. 32. Beispiel (Kieselzinkerz).

c. Zonengesetz. 33. Zone. 34. Ausdruck der Zone. 35. Zonengleichung. 36. Fläche in 2 Zonen. 37. Deduktion. 38. Zonengesetz. 39. Beispiele. 40. Praktischer Werth der Zonen.

d. Symmetrieverhältnisse. 41. Symmetrieebene. 42. Grad der Symmetrie. 43. Krystallsysteme. 44. Grenzformen. 45. Modifikationen der Kanten und Ecken. 46. Symmetriegesetz. 47. Anordnung der einfachen Formen in den Combinationen. 48. Bildung von Combinationen. 49. Krystallographische Axen. 49a. Krystallographische Axensysteme für die einzelnen Krystallsysteme. 50. Fortsetzung. 51. Axenelemente. 52. Oktanten, Dodekanten. 53. Gruppirung der Flächen um die Axen. 54. Ableitung der einfachen Formen. 55. Gleichliegende, gleichnamige Flächen. 56. Hemiëdrie. 56a. Tetartoëdrie. 57. Hemimorphismus, Meroëdrie.

D. Krystallsysteme.

58—64. Reguläres System. 65—75. Hexagonales System. 76—81. Quadratisches System. 82—86. Rhombisches System. 87—90. Monoklines System. 91—93. Triklines System.

E. Gesetzmässige Verwachsung der Krystalle.

94. Parallelverwachsung. 95—104. Zwillingsverwachsung. 105. Mimesie. 106. Baumförmig etc. 107. Verwachsung ungleichartiger Krystalle.

F. Beschaffenheit und Ausbildung der Krystalle.

108. Krystallflächen. 109. Vicinale Flächen. 110. Krystallskelette. 111. Krystallschalen. 112. Feste Einschlüsse. 113. Flüssige, gasförmige Einschlüsse. 114. Eingewachsene Krystalle. 115. Aufgewachsene Krystalle. 116. Derbe Aggregate. 117. Amorphe Mineralien.

II. Abschnitt. Mineralphysik.

118. Hauptgesetz der Krystallphysik. 119. Specifisches Gewicht. 120. Cohäsion. 121. Tenacität, 122. Elasticität. 123. Härte. 124. Zersprengbarkeit. 125. Bruch. 126. Blätterbruch. 127. Gleitflächen. 128. Körnerprobe. 129. Aetzfiguren. 130. Isotrop, anisotrop. 131. Welle, Strahl. Isotrope Medien und zwar: 132. Allgemeines. 133. Reflexion. 134. Refraction. 135. Dispersion. 136. Polarisation. 137. Planparallele Platte. 138. Prisma. 139. Totalreflexion. 140. Brechungscoefficienten. Anisotrope Medien und zwar: 141. Schwingungsrichtungen. 142. Doppelbrechung. 143. Optische Axen. 144. Einaxige Krystalle. 144a. Wellenfläche. 145. Charakter der Doppelbrechung. 145a. Doppelbrechung im Kalkspath. 146. Nicol'sches Prisma, Turmalinplatte. 147. Brechungscoëfficienten. 148. Zweiaxige Krystalle. 149. Schwingungsrichtungen. 149a. Wellenfläche. 150. Optische Axen. 151. Axenwinkel. 151a. Dispersion der optischen Axen. 152. Dispersion der Elasticitätsaxen. 153. Optische Constanten. 154. Brechungscoëfficienten. 155. Untersuchung im Polarisationsinstrument. 156. Polarisationsinstrument für convergentes Licht. 156a. Polarisationsinstrument für paralleles Licht. 157. Wirkung des Polarisationsinstruments. 157a. Auslöschungsschiefe. 157b. Stauroskop. 157c. Mikroskop mit Polarisation. 158. Isotrope Mineralien. 159—163. Einaxige Krystalle. 159. Im parallelen Licht. 159a. Quarzkeil. 160. Im Stauroskop. 161. Im convergenten Licht. 162. Circularpolarisation. 163. Charakter der Doppelbrechung. 164—169. Zweiaxige Krystalle. 164. Im parallelen Licht. 165. Im convergenten Licht. 166. Interferenzfiguren. 167. Grösse des Axenwinkels. 168. Messung des Axenwinkels. 169. Charakter der Doppelbrechung. 170. Einfluss der Temperatur. 171. Zwillinge. 172. Optische Anomalien. 173. Glanz. 174. Pellucidität. 175. Farbe. 176. Strich. 177. Pleochroismus. 178. Phosphorescenz, Fluorescenz. 179. Besondere Farbenerscheinungen. 180. Wärmestrahlung. 181. Wärmeleitung. 182. Ausdehnung. 183. Aenderung des Aggregatzustandes. 184. Elektricität, Pyroelektricität. 184a. Thermoelektricität. 185. Magnetismus.

III. Abschnitt. Mineralchemie.

186. Zusammensetzung. 187. Analyse. 188. Verhalten vor dem Löthrohr. Tabelle. 189. Verhalten gegen Lösungsmittel. 190. Wassergehalt. 191. Dimorphismus. 192. Isomorphismus. 193. Chemisches 194. Krystallographisches. 195. Physikalisches Verhalten isomorpher Körper. 196. Isodimorphismus. 197. Isomorphe Fortwachsung. 198. Isomorphe Mischungen. 199. Kryst. und phys. Verhalten iso-

morpher Mischungen. 200. Entstehung der Mineralien. 201. Vorkommen der Mineralien. 202. Gesteinsgemengtheile. 203. Struktur. 204. Lagerung. 205. Material der Gesteine. 206. Trümmergesteine. 207. Mineralien späterer Entstehung. 208. Mineralien auf Mandelräumen. 209. Mineralien auf Spalten. 210. Contaktbildungen. 211. Paragenesis. 212. Mineralbildungsprocesse. 213. Abscheidung aus Wasser. 214. Organische Mineralbildungen. 215. Erstarrung aus dem Schmelzfluss. 216. Sublimation. 217. Umwandlung der Mineralien. 218. Hydrochemische Umwandlungsprocesse. 219. Pseudomorphosen.

Specieller Theil.

220. Mineralspecies. 221. Varietät. 222. Systematik.
Sodann folgt die Beschreibung der einzelnen Mineralspecies.

Einleitung.

1. Mineralien. *Mineralogie* oder *Oryktognosie* ist derjenige Theil der Naturgeschichte, der sich mit der wissenschaftlichen Erforschung der Mineralien nach allen ihren Eigenschaften und Beziehungen beschäftigt.

Mineralien sind die homogenen, starren oder tropfbarflüssigen unorganischen Naturproducte von bestimmter, durch eine Formel ausdrückbarer chemischer Constitution, welche die feste Kruste der Erde und anderer planetarischer Himmelskörper zusammensetzen.

Alle Mineralien sind homogen, d. h. durch und durch gleichartig, so dass ein Theilchen ganz genau ebenso beschaffen ist, wie jedes andere Theilchen desselben Stücks. Dadurch unterscheiden sich die Mineralien u. a. von gewissen in der festen Erdkruste in grosser Ausdehnung und grossen Quantitäten an vielen Orten in ganz gleicher Weise vorkommenden Massen, wie Granit, Gneis etc., welche als *Gebirgsarten* oder *Gesteine* nicht der Mineralogie, sondern der *Petrographie* angehören. Es sind dies Mineralgemenge, deren einzelne homogene Bestandtheile Gegenstände der Mineralogie bilden.

Die allermeisten Mineralien sind fest, nur Quecksilber, Wasser und Petroleum sind flüssig.

Die Mineralien sind ferner unorganisch, d. h. nicht durch den Lebensprocess von Pflanzen und Thieren gebildet, und stehen in sofern jenen organischen, aus Zellen zusammengesetzten Naturkörpern gegenüber, welche letztere oder ihre Bestandtheile selbst dann nicht zu den Gegenständen der Mineralogie gehören, wenn sie im sog. fossilen oder versteinerten Zustande sich als Versteinerungen oder Petrefacten in der Erdkruste finden. Es sind also namentlich Muschelschalen, Korallenstücke und Aehnliches, sodann aber auch die im Thier- und Pflanzenkörper vielfach gebildeten Krystalle etc. vom Mineralreich ausgeschlossen. Ebenso ist es streng genommen mit den fossilen Kohlen (Stein- und Braunkohlen etc., welche überdies auch weit davon entfernt sind, homogen zu sein); mit Harzen, wie Bernstein und mit Aehnlichem, weil alle diese Körper organischen Ursprungs sind, mehr oder weniger weit vorgeschrittene Umwandlungsstadien von Pflanzenmassen verschiedener Art. Aber einem alten Gebrauch zufolge werden diese letzteren Substanzen trotzdem in der Mineralogie mit behandelt.

Nur solche Substanzen heissen Mineralien, die eine bestimmte und feste, durch eine Formel darstellbare chemische Constitution besitzen. Es giebt eine Anzahl sonst wie Mineralien sich verhaltender Körper, glasartig erstarrte Gesteinsmassen, wie Obsidian, Pechstein etc., die aber eine schwankende Zusammensetzung haben und daher nicht zu den Mineralien, sondern zu den Objecten der Petrographie zählen.

Die Mineralien, als auf vollkommen natürlichem Weg ohne Zuthun des Menschen entstandene sog. Naturproducte, stehen den sog. Kunstproducten der chemischen Fabriken und Laboratorien gegenüber, zu deren Entstehung der Mensch Veranlassung gegeben hat, z. B. Eisenvitriol, Alaun etc. In allen Eigenschaften der Homogenëität, der festen chemischen Zusammensetzung und der unorganischen Structur und Entstehung stimmen diese künstlich dargestellten Körper mit den Mineralien durchaus überein, aber die Mineralien haben gerade wegen ihrer vom Menschen ganz unabhängigen Entstehung in der festen Erdkruste, welche von ihnen zum grössten Theil zusammengesetzt wird, eine selbständige eigenthümliche Bedeutung, und es ist daher rathsam, sie für sich und abgesondert von den künstlich dargestellten Substanzen zu betrachten.

Stücke anderer planetarischer Himmelskörper gelangen zuweilen als sog. Meteoriten auf die Erde. Sie werden von Mineralien gebildet, welche z. Th. mit irdischen vollkommen identisch, z. Th. von allen solchen verschieden, aber in sämmtlichen wesentlichen Beziehungen mit ihnen analog sind.

2. Mineralogie. Die wissenschaftliche Untersuchung und Beschreibung der Mineralien hat sich auf alle ihre Eigenschaften, auf ihr Gesammtverhalten zu beziehen.

Das Erste, was sich hierbei darbietet, ist die *chemische Zusammensetzung.* Man muss vor allem wissen, was ein vorliegendes Mineral in stofflicher Beziehung ist, ehe man zur Erforschung weiterer Eigenschaften übergehen kann. Die *Chemie* ist also eine erste wichtige Hülfswissenschaft für die Mineralogie, welche auch zugleich das Verhalten der Mineralien gegen Säuren und Basen, gegen Wasser, Sauerstoff und Kohlensäure und andere Agentien ermittelt und bei der Frage nach der Entstehung der Mineralien eine wesentliche Rolle spielt.

Das Zweite ist die Erforschung der *Krystallform*, die Kenntniss der regelmässig polyëdrischen Begrenzung, welche die meisten Mineralien zeigen, und welche einmal an sich, sodann aber auch in ihren wichtigen Beziehungen zur chemischen Zusammensetzung untersucht wird (Isomorphismus, Dimorphismus). Die *Krystallographie* ist also eine zweite wichtige Hülfswissenschaft.

Sodann sind die *physikalischen* Eigenschaften der Mineralien ins Auge zu fassen, das Verhalten derselben gegen Wärme, Elektricität, Magnetismus, die Verhältnisse der Elasticität und der Härte, das specifische Gewicht und vor allem ihr Verhalten gegen das Licht; alles dies sowohl an sich, als in Beziehung zu der Krystallform und chemischen Zusammensetzung. Diese Untersuchungen setzen als Hülfswissenschaft die *Physik* voraus.

Auf Grund der chemischen, krystallographischen und physikalischen Eigenschaften werden die Mineralien sodann in ein System gebracht, was eine möglichst leichte und bequeme Uebersicht über das Gesammtgebiet zum Zwecke hat.

Da die Mineralien Theile der festen Erdkruste sind, so ist ferner von wesentlichem Interesse die Kenntniss ihres Vorkommens in derselben, der Art und Weise, wie sie mit anderen Mineralien zusammen den Aufbau der Erdkruste bewirken, wie sie in ihr entstanden sind, wie sie sich unter dem Einfluss der in der Erde stets wirksamen chemischen und physikalischen Kräfte verhalten, wie sie durch die-

selben umgeändert und häufig ganz zerstört werden, und wie sie dabei zur Bildung neuer Mineralien Veranlassung geben. In diesen Fragen steht die Mineralogie zur *Geologie* in einer nahen Beziehung, so dass beide sich vielfach gegenseitig als Stütze und Ergänzung dienen.

Nach allem dem kann man also schliesslich die *Aufgabe der Mineralogie* zusammenfassen als die Anwendung der Lehren der Chemie, Krystallographie und Physik auf die Kenntniss der Mineralien unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Art und Weise ihres Vorkommens in der Natur, ihrer Entstehung, ihrer Umwandlung und ihres Vergehens unter dem Einfluss der auf und in der Erde wirksamen chemischen und physikalischen Kräfte.

3. Litteratur. Im Folgenden ist eine Anzahl von Werken angegeben, welche für die Entwickelung unserer Wissenschaft von Bedeutung gewesen sind, geordnet nach den verschiedenen Zweigen der Mineralogie und nach den Jahren ihres Erscheinens. Litteraturangaben für einzelne specielle Gegenstände finden sich an den betreffenden Stellen im Text.

A. Lehr- und Handbücher der Mineralogie.

1794. **Wiedenmann.** Handbuch des oryktognostischen Theils der Mineralogie.
1801—5. **Reuss.** Lehrbuch der Mineralogie. 3 Bde.
1811—17. **Hoffmann.** Handbuch der Mineralogie. (Beendigt von Breithaupt.) 4 Bde.
1811—24. **Steffens.** Vollständiges Handbuch der Oryktognosie. 4 Bde. u. Suppl.
1822. **Hally.** Traité de minéralogie. 2. Aufl. 4 Bde. u. Atlas.
1822—24. **Mohs.** Grundriss der Mineralogie. 2 Bde.
1826. **C. C. v. Leonhard.** Handbuch der Oryktognosie. 2. Aufl.
1828. **Naumann.** Lehrbuch der Mineralogie. 1 Bd. u. Atlas.
1828—47. **Hausmann.** Vollständiges Handbuch der Mineralogie. 2 Thle.
1829. **Haidinger.** Anfangsgründe der Mineralogie.
1830—31. **v. Kobell.** Charakteristik der Mineralien. 2 Bde.
1830—32. **Beudant.** Traité élementaire de minéralogie. 2. Aufl. 2 Bde.
1831. **Glocker.** Handbuch der Mineralogie. 2. Aufl.
1832. **Breithaupt.** Vollständige Charakteristik des Mineralsystems. 3. Aufl.
1836—39. **Mohs.** Leichtfassliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreichs. 2. Aufl. 2 Bde. (Der 2. Band bearbeitet von Zippe.)
1836—47. **Breithaupt.** Vollständiges Handbuch der Mineralogie. 3 Bde.
1838. **v. Kobell.** Grundzüge der Mineralogie.
1839. **Glocker.** Grundriss der Mineralogie.
1843. **Hartmann.** Handbuch der Mineralogie. 2 Bde. Nachtrag 1850.
1851. **Haidinger.** Handbuch der bestimmenden Mineralogie. 2. Aufl.
1852. **Phillips.** Elementary introduction in mineralogy. Neue (5.) Aufl. von Brooke und Miller.
1856—59. **Dufrénoy.** Traité de minéralogie. 4 Bde. u. Atlas.
1858—60. **Delafosse.** Nouveau cours de minéralogie. 2 Bde. und Atlas.
1859. **Zippe.** Lehrbuch der Mineralogie mit naturhistorischer Grundlage.
1860. **G. Leonhard.** Grundzüge der Mineralogie. 2. Aufl.
— **Pfaff.** Grundriss der Mineralogie.
1862. **Girard.** Handbuch der Mineralogie.
1862—74. **Des Cloizeaux.** Manuel de minéralogie. 2 Bde. Unvollständig.
1864. **Andrä.** Lehrbuch der gesammten Mineralogie.
1869. **Senft.** Lehrbuch der Mineralien- und Felsartenkunde.
— **J. D. Dana.** A system of mineralogy. 5. Aufl. mit 3 Nachträgen 1872 bis 1882.
1873—75. **Bombicci.** Corso di mineralogia. 2. Aufl. 2 Bde.

1874. **Blum.** Lehrbuch der Mineralogie. 4. Aufl.
1875. **Senft.** (Leunis, Synopsis der drei Naturreiche. 3. Bd. 1. Abth.: Mineralogie. 2. Aufl. bearbeitet von Senft; 1. Aufl. von Fr. Ad. Roemer.)
1877. **Edw. S. Dana.** A text-book of mineralogy.
— **Quenstedt.** Handbuch der Mineralogie. 3. Aufl.
1878. **v. Kobell.** Die Mineralogie, leichtfasslich dargestellt. 5. Aufl.
1880. **Kenngott.** Lehrbuch der Mineralogie. 5. Aufl.
1881. **Naumann.** Elemente der Mineralogie. 11. Aufl. bearb. von Zirkel.
1882. **Hornstein.** Kleines Lehrbuch der Mineralogie. 3. Aufl.
1884. **Tschermak.** Lehrbuch der Mineralogie.
(Noch unvollendet ist das Wörterbuch der Mineralogie etc. von Kenngott, v. Lasaulx und Rolle.)

B. Krystallographie und Physik der Mineralien.

1772. **Romé de l'Isle.** Essai de cristallographie.
1774. **A. G. Werner.** Von den äusserlichen Kennzeichen der Fossilien.
1783. **Romé de l'Isle.** Cristallographie. 4 Bde.
1822. **Hally.** Traité de cristallographie. 2 Bde.
1823. **Neumann.** Beiträge zur Krystallonomie.
1825. **Naumann.** Grundriss der Krystallographie.
1829. **Grassmann.** Zur physischen Krystallonomie und geometrischen Combinationslehre.
1830. **Naumann.** Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie. 2 Bde.
1831. **Kupffer.** Handbuch der rechnenden Krystallonomie.
1839. **Miller.** A treatise on crystallography. (Uebersetzt und bearbeitet von Grailich. 1856.)
1840. **Quenstedt.** Methode der Krystallographie.
1846. **Kenngott.** Lehrbuch der reinen Krystallographie.
1851. **Schröder.** Elemente der rechnenden Krystallographie.
1852. **Rammelsberg.** Lehrbuch der Krystallkunde.
1853. **Pfaff.** Grundriss der mathematischen Verhältnisse der Krystalle.
1854. **Naumann.** Anfangsgründe der Krystallographie. 2. Aufl.
1855. **Kenngott.** Synonymik der Krystallographie.
— **Schabus.** Bestimmung der Krystallgestalten in chemischen Laboratorien erzeugter Producte.
1856. **Grailich,** vergl. 1839 **Miller.**
— **Naumann.** Elemente der theoretischen Krystallographie.
1857. **Weissbach.** Das axonometrische Zeichnen.
1858. **Grailich.** Krystallographisch-optische Untersuchungen.
1861. **Karsten.** Lehrbuch der Krystallographie.
1862. **Kopp.** Einleitung in die Krystallographie. 2. Aufl.
1863. **Miller.** A tract on crystallography (übersetzt von Jörres, 1864).
1865. **N. v. Kokscharow.** Vorlesungen über Mineralogie.
1866. **V. v. Lang.** Lehrbuch der Krystallographie.
— **Bravais.** Études crystallographiques.
1866—68. **Schrauf.** Lehrbuch der physikalischen Mineralogie. 2 Bde.
1867. **G. Werner.** Leitfaden zum Studium der Krystallographie.
1873. **Quenstedt.** Grundriss der bestimmenden und rechnenden Krystallographie.
— **G. Rose.** Elemente der Krystallographie. 3. Aufl. bearbeitet von Sadebeck.
1876. **Sadebeck.** Angewandte Krystallographie.
— **C. Klein.** Einleitung in die Krystallberechnung.
— **Groth.** Physikalische Krystallographie.
1879. **Mallard.** Traité de crystallographie géometrique et physique.
— **Sohnke.** Entwickelung einer Theorie der Krystallstructur.
1881. **Liebisch.** Geometrische Krystallographie.
— **Bauerman.** Textbook of systematic mineralogy.
1883. **Rammelsberg.** Elemente der Krystallographie für Chemiker.
— **Brezina.** Methodik der Krystallbestimmung.

C. Mikroskopisches Verhalten der Mineralien.

1869—75. **Fischer.** Kritische mikroskopisch-mineralogische Studien, mit 2 Fortsetzungen.
1873. **Rosenbusch.** Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien.
— **Zirkel.** Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine.
1876. **Döiter.** Die Bestimmung der petrographisch wichtigeren Mineralien durch das Mikroskop.
1879. **Fouqué et Michel Lévy.** Minéralogie micrographique.
1881. **Zirkel.** Die Einführung des Mikroskops in das mineralog.-geolog. Studium.
1881—83. **Cohen.** Sammlung von Mikrophotographien zur Veranschaulichung der mikroskop. Structur der Mineralien und Gesteine. 10 Liefrg.
1883. **Tschermak.** Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten.

D. Chemische Verhältnisse der Mineralien.

(Vergl. auch die speciellen chemischen Werke von Fresenius, H. Rose, Wöhler, Rammelsberg etc., sowie betreffs des Löthrohrverhaltens der Mineralien die Abth. F. dieses Abschnittes.)
1795—1815. **Klaproth.** Beiträge zur chemischen Kenntniss der Mineralkörper. 6 Bde.
1808—1816. **John.** Chemische Untersuchung der Mineralkörper.
1822. **Stromeyer.** Untersuchungen über die Mischung der Mineralkörper.
1841—53. **Rammelsberg.** Handwörterbuch des chemischen Theils der Mineralogie. Mit 5 Suppl.
1843. **Delesse.** Thèse sur l'emploi de l'analyse chimique dans les récherches de minéralogie.
1854. **Volger.** Studien zur Entwickelungsgeschichte der Mineralien.
1861. **Wöhler.** Die Mineralanalyse in Beispielen.
1863—66. **Bischof.** Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 3 Bde. 2. Aufl. Mit einem Suppl. 1871.
1875. **Rammelsberg.** Handbuch der Mineralchemie. 2. Aufl.
— **Haushofer.** Die Constitution der natürlichen Silicate nach den neuesten Ansichten der Chemie.
1879. **Roth.** Allgemeine und chemische Geologie. I. Bd.

E. Nachbildung (künstliche Darstellung) der Mineralien.

1857. **Gurlt.** Uebersicht der pyrogeneten künstlichen Mineralien.
1858. **C. C. v. Leonhard.** Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien.
1872. **Fuchs.** Die künstlich dargestellten Mineralien.
1879. **Daubrée.** Études synthétiques de géologie expérimentale.
1882. **Fouqué et Michel Lévy.** Synthèse des minéraux et des roches.
1884. **Bourgeois.** Réproduction artificielle des minéraux.

F. Werke zur Untersuchung und Bestimmung der Mineralien.

1844. **Berzelius.** Die Anwendung des Löthrohrs. Deutsch von H. Rose. 4. Aufl.
1848. **Zimmermann.** Handbuch zum Bestimmen der Mineralien.
1857. **Scheerer.** Löthrohrbuch. 2. Aufl.
1862. **Kerl.** Leitfaden bei qualitativen und quantitativen Löthrohruntersuchungen. 2. Aufl.
1864. **Fischer.** Clavis der Silicate.
1866. **Blum.** Die Mineralien nach den Krystallsystemen geordnet.
1873. **Helmhacker.** Tafeln zur Bestimmung häufig vorkommender Mineralien.
1874. **Senft.** Analytische Tabellen zur Bestimmung der Mineralien.
1875. **Hirschwald.** Löthrohrtabellen.
— **Fuchs.** Anleitung zur Bestimmung der Mineralien. 2. Aufl.
1877. **Bořicky.** Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Gesteinsanalyse.
1877—78. **Plattner.** Probirkunst mit dem Löthrohr. 5. Aufl.

1878. **Brush.** Manuel of determinative Mineralogy. 3. Aufl.
— **Leypold.** Mineralogische Tafeln.
— **Weissbach.** Tabellen zur Bestimmung der Mineralien nach äusseren Kennzeichen. 2. Aufl.
1879. **Laube.** Hülfstafeln zur Bestimmung der Mineralien. 2. Aufl.
1880. **Bunsen.** Flammenreactionen.
— **Chapman.** Blowpipe practice.
1881. **Landauer.** Die Löthrohranalyse. 2. Aufl.
— **Behrens.** Mikrochemische Methoden zur Mineralanalyse.
1884. **v. Kobell.** Tafeln zur Bestimmung der Mineralien mittelst einfacher chemischer Versuche. 12. Aufl. von Oebbeke.

G. Vorkommen der Mineralien.

1810—19. **Héron de Villefosse.** De la richesse minérale. 3 Bde. und Atlas.
1825. **Monticelli e Covelli.** Prodromo della mineralogia vesuviana.
1826. **Hisinger.** Mineralogische Geographie von Schweden. Deutsch von Wöhler nach der Handschrift zur 2. Aufl.
1837—42. **G. Rose.** Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural etc. 2 Bde.
1842. **Beck.** Report of the mineralogy of the State of New-York.
1843. **G. Leonhard.** Handwörterbuch der topographischen Mineralogie.
1849. **Breithaupt.** Die Paragenesis der Mineralien.
1852. **A. Nordenskjöld.** Verzeichniss der in Finnland gefundenen Mineralien.
1853. **Sartorius von Waltershausen.** Die vulkanischen Gesteine von Sicilien und Island.
1855. **A. Nordenskjöld.** Beskrifning öfver de in Finland funna mineralier. (2. Aufl. 1863.)
— **Haidinger.** Geologische Uebersicht der Bergbaue der Oesterreichischen Monarchie.
1856. **Sella.** Studi sulla mineralogia sarda.
1857. **J. Roth.** Der Vesuv und die Umgebung von Neapel.
— **Vogl.** Gangverhältnisse und Mineralreichthum Joachimsthals.
1858. **Greg and Lettsom.** Manuel of the mineralogy of Great Britain and Ireland.
1858—73. **v. Zepharovich.** Mineralogisches Lexikon des Kaiserthums Oesterreich. 2 Bde.
1859—61. **v. Cotta.** Die Lehre von den Erzlagerstätten.
1863. **Fiedler.** Die Mineralien Schlesiens.
1866. **Kenngott.** Mineralien der Schweiz.
1868. **Daubrée.** Substances minérales. Extrait des rapports du Jury international de l'exposition universelle de 1867.
— **Senft.** Die krystallinischen Erdgemengtheile nach ihren mineralischen Eigenschaften.
1869. **Grimm.** Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien.
1870. **Landgrebe.** Mineralogie der Vulkane.
1873. **v. Dechen.** Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im Deutschen Reiche.
— **d'Achiardi.** Mineralogia della Toscana. 2 Bde.
1874. **Frenzel.** Mineralogisches Lexikon für das Königreich Sachsen.
1875. **Genth.** Report of the mineralogy of Pensylvania. Mit Nachtrag 1876.
— **Gonnard.** Mineralogie du département du Puy-de-Dôme.
— **How.** Mineralogy of Nova Scotia.
1876. **G. Leonhard.** Die Mineralien Badens nach ihrem Vorkommen. 3. Aufl.
1878. **Fugger.** Die Mineralien des Erzherzogthums Salzburg.
— **Giesecke.** Mineralogische Reise nach Grönland (ed. Johnstrup).
— **Raimondi.** Minéraux du Perou. Aus dem Spanischen von Martinet.
1879. **v. Groddeck.** Die Lehre von den Lagerstätten der Erze.
— **Domeyko.** Mineralojia, besonders die Mineralien von Chili, Bolivia, Peru und Argentinien behandelnd. 3. Aufl. Suppl. 1871.
— **Brakebusch.** Las Especies minerales de la Republica argentina.
1884. **Brunlechner.** Die Minerale des Herzogthums Kärnten.

(Siehe ausserdem die verschiedenen Werke über Petrographie von Zirkel, Rosenbusch, v. Lasaulx u. A.)

H. Sammelwerke, Zeitschriften etc.

1806—18. **Hisinger** und **Berzelius.** Afhandlingar i Fisik, Kemi och Mineralogi. 6 Bde.
1807—24. **v. Leonhard.** Taschenbuch für die gesammte Mineralogie. 18 Bde.
1811—33. **Schweigger.** Journal für Physik und Chemie. 69 Bde.
1829—55. **Karsten** und **v. Dechen.** Archiv für Mineralogie, Geognosie etc. 26 Bde.
1849. **Kenngott.** Mineralogische Untersuchungen.
1853—83. **v. Kokscharow.** Materialien zur Mineralogie Russlands. 9 Bde. nebst Atlas (wird fortgesetzt).
1853. **v. Kobell.** Die Mineralnamen und die mineralogische Nomenclatur.
1856—75. **Hessenberg.** Mineralogische Notizen. 12 Hefte. In den Abhandlungen der Senkenbergischen Gesellschaft von Bd. 1—10.
1865—78. **Schrauf.** Atlas der Krystallformen des Mineralreichs. (Unvollständig.)
1866. **Breithaupt.** Mineralogische Studien.
1867. **Des Cloizeaux.** Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux.

Zeitschriften, in welchen gegenwärtig mineralogische Arbeiten publicirt werden:

Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie von Bauer, Dames und Liebisch, gegründet von Leonhard und Bronn 1830.
Mineralogische und petrographische Mittheilungen von Tschermak, seit 1871.
Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie von Groth, seit 1877.
Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, seit 1849.
Annalen der Physik und Chemie von Wiedemann (früher Poggendorff und Gilbert), seit 1799.
Berg- und hüttenmännische Zeitung, seit 1842.
Verhandlungen und Schriften der russischen kaiserlichen Gesellschaft für die gesammte Mineralogie.
Annales de chimie et physique, seit 1816.
Bulletin de la société mineralogique de France, seit 1878.
Bulletin de la societé géologique de France, seit 1886.
Annales des mines, seit 1816.
The mineralogical Magazine, seit 1877.
American Journal of sciences and arts von Silliman, seit 1818.

(Ausserdem kommen mineralogische Arbeiten in den zahlreichen Schriften der Akademien und naturwissenschaftlichen Vereine etc. aller Länder zur Veröffentlichung, sowie vereinzelt in fast sämmtlichen der Chemie und Physik gewidmeten Zeitschriften.)

J. Jahresberichte über den Stand und den Fortschritt der Wissenschaft.

1822—48. **Berzelius.** Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften. Deutsch von Gmelin.
1835—37. **Glocker.** Mineralogische Jahreshefte. 5 Bde.
1845. **v. Haidinger.** Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen im Jahr 1843.
1852—68. **Kenngott.** Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen in den Jahren 1844—1865. 17 Theile.
1847—. **Liebig** und **Kopp.** Jahresbericht über die Fortschritte der reinen etc. Chemie, Physik, Mineralogie und Geologie nebst Fortsetzungen, welche unter verschiedenen Herausgebern bis heutzutage erscheinen.

K. Uebersichten über das System.

1808. **Karsten.** Mineralogische Tabellen. 2. Aufl.
1809. **Haüy.** Tableau comparatif des résultats de la cristallographie et de l'analyse chimique.
1830. **Breithaupt.** Uebersicht des Mineralsystems.

1847. **Berzelius'** neues chemisches Mineralsystem nebst einer Zusammenstellung seiner älteren hierauf bezüglichen Arbeiten, herausgegeben von C. Rammelsberg.
— **Glocker.** Generum et specierum mineralium etc. synopsis.
— **Hörnes.** Uebersichtliche Darstellung des Mohs'schen Systems.
1849. **Nordenskjöld.** Ueber das atomistische Mineralsystem.
1852. **G. Rose.** Das krystallo-chemische Mineralsystem.
1875. **Weissbach.** Synopsis mineralogica.
1882. **Groth.** Tabellarische Uebersicht der Mineralien. 2. Aufl.
— **G. Werner.** Mineralogische und geologische Tabellen.

L. Beschreibung von Mineraliensammlungen.

1804. **Mohs.** Des Herrn J. F. von der Null's Mineraliencabinet.
1834. **Kayser.** Beschreibung der Mineraliensammlung des Medicinalraths Bergemann in Berlin.
1843. **Haidinger.** Bericht über die Mineraliensammlung der k. k. Hofkammer.
1837. **Lévy.** Déscription d'une collection de minéraux formée par M. Heuland.
1878. **Groth.** Die Mineraliensammlung der Kaiser-Wilhelms-Universität Strassburg.

M. Praktische Benutzung der Mineralien (Lithurgik etc.).

1803. **Leonhardi.** Oekonomische und technische Naturgeschichte des Mineralreichs.
1803—4. **Schmieder.** Versuch einer Lithurgik oder ökonomischen Mineralogie. 2 Bde.
1805. **Völker.** Handbuch der ökonomisch-technischen Mineralogie. 2 Bde.
1821. **Brard.** Minéralogie appliquée aux arts. 3 Bde.
1822. **Blumhof.** Lehrbuch der Lithurgik.
1826. **Naumann.** Entwurf der Lithurgik.
1840. **Blum.** Lithurgik.
1860. **Kluge.** Handbuch der Edelsteinkunde.
1867. **King.** The natural history of precious stones and of precious metals.
1868. **Schrauf.** Handbuch der Edelsteinkunde.
1870. **Rambosson.** Les pierres précieuses.
1881. **Jannettaz, Vanderheym etc.** Diamant et pierres précieuses.

N. Geschichte der Mineralogie.

1825. **Marx.** Geschichte der Krystallkunde.
1839. **Whewell.** Geschichte der inductiven Wissenschaften. (Deutsch von Littrow.)
1861. **Lenz.** Die Mineralogie der alten Griechen und Römer.
1865. **v. Kobell.** Geschichte der Mineralogie.

Allgemeiner Theil.

I. Abschnitt.

Krystallographie.

A. Begriff des Krystalls.

4. Krystallisirt, amorph. Gewisse Substanzen von bestimmter chemischer Constitution besitzen häufig eine regelmässig ebenflächige, polyëdrische Begrenzung, wie z. B. der Quarz, Feldspath, Alaun etc., während andere nie etwas Solches wahrnehmen lassen, wie z. B. Glas, Opal etc. Die ersteren Substanzen nannte man *krystallisirt*, die letzteren *amorph*. (Joh. Nep. Fuchs, Amorphismus im Gegensatze zu Krystallisation.)

Dieser Unterschied haftet aber nicht blos an der Gestaltung der Oberfläche, sondern er ist ein tiefgehender, das Gesammtverhalten der Substanz umfassender, und auch in den inneren physikalischen Eigenschaften der Körper begründeter, so dass es nach diesen letzteren möglich ist, einen krystallisirten Körper auch dann von einem amorphen zu unterscheiden, wenn derselbe seine regelmässige Begrenzung, z. B. infolge von mechanischer Entfernung der äusseren Schicht, nicht erkennen lässt.

Man findet nämlich bei der Untersuchung amorpher homogener Substanzen, dass dieselben nach allen Richtungen sich physikalisch vollkommen gleich verhalten, und dass ganz besonders alle diejenigen physikalischen Eigenschaften, welche mit der Cohäsion zusammenhängen, in ihnen nach allen Richtungen vollkommen gleich sind. Namentlich ist dies mit der Elasticität, gemessen durch den Elasticitätscoëfficienten, der Fall. Diesen letzteren findet man an einem amorphen Körper stets gleich, man mag das zur Messung dienende Stäbchen aus demselben herausschneiden, in welcher Richtung man will; er ist von der Richtung völlig unabhängig.

Dem gegenüber sind die krystallisirten Körper dadurch charakterisirt, dass in ihnen die physikalischen Eigenschaften im allgemeinen

mit der Richtung sich ändern. Dies ist besonders und bei allen Krystallen ohne Ausnahme mit der Cohäsion und den damit zusammenhängenden Eigenschaften der Fall. In den meisten Krystallen sind so grosse Cohäsionsunterschiede vorhanden, dass sie sich nach gewissen Richtungen leicht nach ganz ebenen Flächen zerspalten lassen (126), während dies in anderen Richtungen nicht möglich ist. Die Existenz solcher Flächen besonders geringer Cohäsion, also besonders leichter Trennung der kleinsten Theilchen, sog. Spaltungsflächen oder Blätterbrüche, ist ein sicheres Kennzeichen für Krystallisation, sie finden sich nie an amorphen Körpern, allerdings auch nicht an allen krystallisirten gleich deutlich.

Besonders wichtig ist aber auch hier wie bei den amorphen Körpern die Elasticität, weil man diese nach allen Richtungen hin genau untersuchen kann. Man findet, dass in jedem krystallisirten Körper zwar in allen parallelen Richtungen der Elasticitätscoëfficient stets derselbe ist, dass er aber in abweichenden Richtungen im allgemeinen einen anderen Werth besitzt, dass er sich also mit der Richtung ändert. Damit ist nicht gesagt, dass in jeder andern Richtung stets auch ein anderer Elasticitätscoëfficient erhalten wird, im Gegentheil giebt es in den meisten Krystallen mehrere Richtungen gleicher Elasticität, aber jede Richtung verhält sich in Bezug auf die Elasticität stets anders als alle unmittelbar benachbarten (122).

Darnach kann man amorphe und krystallisirte Mineralien folgendermassen definiren:

Amorphe Substanzen sind solche, bei denen die Cohäsion und alle damit in Zusammenhang stehenden physikalischen Eigenschaften in allen Richtungen gleich, also von der Richtung unabhängig sind.

Krystallisirte Substanzen sind diejenigen homogenen festen Körper, bei denen die Cohäsion und alle damit zusammenhängenden Eigenschaften, besonders die Elasticität, sich mit der Richtung stetig ändern, sofern diese Aenderung nicht durch äussere Einflüsse hervorgebracht ist, sondern dem Wesen der Substanz entspricht.

Verschiedene Elasticität etc. in verschiedenen Richtungen haben z. B. auch Holz, Elfenbein und andere ähnliche Körper. Diese sind aber nicht homogen, fallen also nicht unter diese Definition. Ebensowenig fallen darunter gepresste oder gekühlte Gläser und ähnliche Substanzen, die zwar homogen sind, bei denen aber die Verschiedenheit der Elasticität in verschiedenen Richtungen durch äussere Einflüsse, wie Pressung, rasche Kühlung etc. hervorgebracht worden ist, während Glas wie alle andern amorphen Körper im ungepressten etc., also im natürlichen Zustande, nach allen Richtungen dieselbe Elasticität zeigt, im Gegensatz beispielsweise zum krystallisirten Quarz, der im vollkommen normalen natürlichen Zustande jene Unterschiede erkennen lässt, und der vielleicht durch äussere Einflüsse, wie Pressung, in einen Zustand der allseitigen Gleichheit der Elasticität künstlich versetzt werden könnte.

5. Individuum. Ist eine homogene zusammenhängende Masse eines krystallisirten Minerals so beschaffen, dass die von allen Punkten o (Fig. 1) (und zwar nicht nur in einer Ebene) ausgehenden parallelen Richtungen $o_1 a_1, o_2 a_2, o_3 a_3 \ldots\ldots$; ferner: $o_1 b_1, o_2 b_2, o_3 b_3; \ldots\ldots;$

etc. sich untereinander auf ihrer ganzen Erstreckung durch die Masse hindurch in jeder Beziehung physikalisch gleich verhalten, dann ist diese Masse einheitlich gebaut, sie bildet ein *Individuum*. Wenn man dagegen durch eine homogene Masse hindurch Richtungen legen kann, welche nicht auf ihrer ganzen Erstreckung von einem Ende bis zum andern physikalisch gleich sind, sondern nur bis zu einem gewissen Punkt, z. B. auf der Strecke *ab* oder *cd* bis zu *b* oder *d* (Fig. 2), von wo ab sie dann in ihrer Fortsetzung, also auf der Strecke bb_1 und dd_1', eine andere physikalische Beschaffenheit annehmen, so dass man sich in *b* in die Richtung bb_1', und in *d* in die Richtung dd_1 herumdrehen muss, um die erste Beschaffenheit in den Richtungen *ab* resp. *cd* wiederzufinden, wie dies die gleich resp. verschieden gezeichneten Linien andeuten, dann ist diese Masse nicht einheitlich gebaut, sondern aus zwei (oder mehreren) verschieden orientirten Individuen verwachsen. Diese stossen stets nach einer ganz scharfen Grenzfläche mn zusammen, welche von allen den Punkten *b*, *d* etc., in welchen die physikalische Beschaffenheit der hindurchgelegten geraden Richtungen sich ändert, gebildet wird.

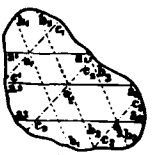
Fig. 1.

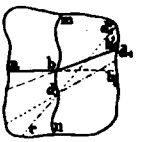
Fig. 2.

Wie lineare Richtungen, so verhalten sich auch Ebenen, die man durch die Masse hindurchlegt. So gehen Blätterbrüche (Spaltungsflächen) durch ein Mineralindividuum vollkommen gleichmässig und ununterbrochen von einem Ende bis zum andern hindurch; dagegen gehen sie bei einer aus zwei Individuen verwachsenen Masse nur bis zur Grenze beider Individuen in einer bestimmten Richtung, von dort an aber in einer anderen Richtung weiter, während sie in der ursprünglichen Richtung genau an der Grenze aufhören. Hieran lassen sich häufig einzelne Individuen von Verwachsungen mehrerer Individuen unterscheiden.

Zwei getrennte Individuen derselben Substanz, welche so liegen, dass die Richtungen im einen allen parallelen Richtungen im anderen Individuum physikalisch gleich sind, heissen *parallel*; Individuen, welche so stehen, dass die Richtungen im einen von parallelen Richtungen im anderen auch nur zum Theil verschieden sind, sind nicht parallel, sie sind *verschieden orientirt*.

6. Krystall, derb. Ein krystallisirter Körper, welcher nach aussen durch eine regelmässige und ebenflächige polyëdrische Begrenzung abgeschlossen wird, heisst ein *Krystall*, sofern diese äussere Begrenzung sogleich ursprünglich bei der Festwerdung des Körpers und zwar durch die inneren Kräfte desselben sich gebildet hat, und somit der Substanz desselben wesentlich ist. Krystallisirte Massen, welche eine solche regelmässige Begrenzung nicht besitzen, heissen *krystallinisch* oder *derb*; aus mehreren derben Individuen verwachsene Mineralmassen heissen *krystallinische* oder *derbe Aggregate*.

Zu dieser Definition des Begriffs Krystall ist Folgendes zu bemerken: Aus vielen krystallisirten Substanzen lassen sich, wenn in ihnen nach mindestens drei geeigneten

Richtungen leichte Spaltbarkeit herrscht (4. 126), ringsum ebenflächig begrenzte Stücke herausspalten. Die Spaltbarkeit ist im Wesen der Substanz begründet, sie verhält sich in allen Stücken derselben Substanz völlig gleich, die einzelnen Spaltungsflächen machen stets dieselben Winkel mit einander, wenn man sie an verschiedenen Stücken derselben Substanz darstellt; sie sind aber nicht ursprünglich, sondern erst nachträglich hergestellt; solche regelmässig polyëdrischen Stücke sind also keine ächten Krystalle, trotzdem dass ihre Form auf den inneren Kräften der Substanz beruht; man nennt sie *Spaltungsstücke*. Sie lassen sich z. B. in ausgezeichneter Weise am Kalkspath herstellen. Ebensowenig liegen ächte Krystalle vor, wenn eine Substanz durch irgend einen äusseren Umstand eine Form erhält, welche für die Krystalle einer andern Substanz charakteristisch ist, z. B. dadurch, dass ein Krystall einer Substanz so langsam und allmählig eine chemische Umwandlung erlitt, dass zwar die ursprüngliche Substanz einer andern Platz machte, aber unter völliger Erhaltung der ursprünglichen Form. In diesem Fall ist die Krystallform nicht durch die inneren Cohäsionskräfte der Substanz dieser aufgeprägt, sondern mehr durch Zufall entstanden, sie ist der Substanz nicht wesentlich. Derartige häufig vorkommende krystallähnliche Bildungen heissen *Afterkrystalle* oder *Pseudomorphosen* (219).

Ein von regelmässigen, den genannten Anforderungen entsprechenden Flächen begrenztes Individuum wird ein *einfacher Krystall* genannt; im Gegensatz zu den Zwillingen ((95) ff., nicht zu verwechseln mit einfachen Krystallformen (9)).

B. Begrenzungselemente.

Die Flächen, Kanten und Ecken, welche die Krystalle umschliessen, heissen die Begrenzungselemente derselben.

a. Flächen.

7. Flächenparallelismus. Die Flächen, welche die Krystalle begrenzen, treten nicht einzeln, sondern stets paarweise in der Art auf, dass zu jeder Fläche eine zweite ihr parallele vorhanden ist. Diese zwei Flächen gehören nothwendig zusammen, so dass man streng genommen nicht von, die Krystalle begrenzenden, Flächen, sondern von Flächenpaaren zu reden hätte. Wenn von einer Fläche gesprochen wird, so ist im allgemeinen die ihr parallele Gegenfläche mit verstanden.

Ausnahmen von der Erscheinung des Flächenparallelismus bilden nur gewisse hemimorphe und hemiëdrische Krystalle ((56. 57) z. B. Fig. 21).

8. Flächenbeschaffenheit. Die Begrenzungsflächen der Krystalle sind meist ziemlich eben, doch auch nicht selten stark gekrümmt, wie z. B. beim Diamant und bei manchen Gypskrystallen. Aber auch die ebenen Flächen sind meist nicht völlig glatt, sondern sie zeigen häufig kleine Erhabenheiten und Vertiefungen von verschiedener Form und Grösse, regelmässig geradlinige Streifen etc. Manche Flächen zeigen starken Glanz, andere sind matt und rauh, manche sind härter als

andere desselben Krystalls, manchen geht ein Blätterbruch parallel, manchen andern nicht etc. Dadurch erhalten die Krystallflächen einen durch die Gesammtheit ihrer Eigenschaften bestimmten physikalischen Charakter (108). Diejenigen Flächen eines Krystalls (und nur auf die Flächen eines und desselben Krystalls bezieht sich das Nachfolgende), welche denselben physikalischen Charakter haben, welche in physikalischer Hinsicht in jeder Beziehung gleich sind, sind auch krystallographisch gleich, sie heissen kurzweg *„gleich"*; physikalisch verschiedene Flächen sind auch krystallographisch verschieden. Dabei ist ganz abzusehen von der relativen Grösse und Gestalt derselben; krystallographisch gleiche Flächen eines Krystalls sind häufig in Form und Grösse sehr von einander verschieden, umgekehrt verschiedene Flächen nicht selten gleichgestaltet. Parallele Gegenflächen sind stets einander gleich (ausgenommen bei Hemiëdrie (56) und Hemimorphie (57).

Zur Erleichterung der Krystallbeschreibung pflegt man auf Abbildungen und Modellen alle gleichen Flächen eines Krystalls mit demselben Buchstaben zu bezeichnen (zu signiren).

9. Einfache Krystallformen, Combinationen. Untersucht man die in der Natur vorkommenden Krystalle, so findet man, dass es einmal solche giebt, deren Begrenzungsflächen alle einander gleich sind, sodann solche, welche von krystallographisch verschiedenen Flächen umgrenzt werden.

Die Begrenzungen von Krystallen der ersten Art — mit lauter gleichen Flächen — heissen *einfache Krystallformen.* Solche sind z. B. die oktaëdrischen Formen, welche man häufig beim Magneteisen findet (Fig. 3), die würfeligen Gestalten des Flussspathes (Fig. 4) u. a. m. Man findet aber, dass eine solche Form nicht ausschliesslich nur bei einem Mineral vorkommt, sondern bei mehreren. So findet man die oktaëdrischen Formen des Magneteisens gleicherweise als einfache Formen wieder beim Gold, Bleiglanz, ebenfalls beim Flussspath, der ausser den würfeligen auch oktaëdrische Krystalle bildet, beim Alaun etc. Die würfeligen Gestalten des Flussspaths finden sich ebenso wieder beim Steinsalz, Schwefelkies, gleichfalls beim Bleiglanz etc.

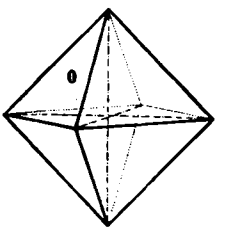

Fig. 3.

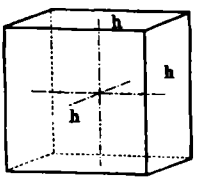

Fig. 4.

Die Formen mit von einander verschiedenen Begrenzungsflächen heissen *Combinationen.* Eine solche Combination, an einem Flussspathkrystall beobachtet, ist in Fig. 5 abgebildet. Der Krystall ist umgrenzt von den 8 dreieckigen Flächen *o*, welche alle glatt und glänzend sind, parallel mit welchen die Krystalle sich sehr leicht

spalten lassen und die sich überhaupt in jeder Beziehung gleich verhalten; sodann von den 6 viereckigen Flächen *h*, welche rauh und matt sind, in deren Richtung Spaltung unmöglich ist und die sich ebenfalls als untereinander in jeder Beziehung gleich, aber von den Flächen *o* verschieden erweisen.

Denkt man sich nun die sämmtlichen Flächen *o* bis zur gegenseitigen Durchdringung ausgedehnt, bei gleichzeitigem Verschwinden der Flächen *h*, so entsteht, wie Fig 6 zeigt, dieselbe oktaëdrische Form, welche für sich allein beim Flussspath etc. sich findet (Fig. 3).

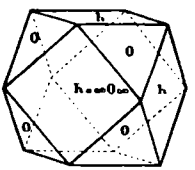

Fig. 5.

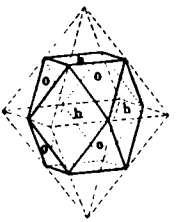

Fig. 6.

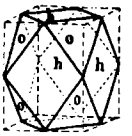

Fig. 7.

Denkt man sich dagegen in gleicher Weise die Flächen *h* ausgedehnt und *o* verschwunden (Fig. 7), so entsteht dadurch die würfelige Gestalt, welche beim Flussspath isolirt vorkommt (Fig. 4). An der in Fig. 5 dargestellten Krystallform sind also das Oktaëder und der Würfel gleichzeitig nebeneinander vorhanden; sie ist eine *Combination* dieser beiden einfachen Formen. Ebenso kann im allgemeinen jede andere Krystallform mit ungleichen Flächen als eine Vereinigung der Flächen mehrerer, sonst auch isolirt vorkommender einfacher Formen aufgefasst werden, wobei immer die zu einer einfachen Form gehörigen Flächen einander gleich und von den andern Flächen verschieden sind (vergl. 10).

Diese einfachen Formen können somit als die Elemente betrachtet werden, aus denen man sich den ganzen Reichthum der Krystallformen zusammensetzen kann. Sie sind in geringer Zahl nur vorhanden und jede kehrt bei einer mehr oder weniger grofsen Zahl von Mineralien wieder, entweder isolirt für sich, wie das oben für Oktaëder und Würfel gezeigt wurde, oder mit andern Formen zusammen, in Combinationen, die ebenfalls sich bei verschiedenen Mineralien wiederholen können. So kommt die Form Fig. 5 ausser beim Flussspath z. B. auch beim Bleiglanz etc. vor.

Combinationen, welche aus 2, 3, 4 ... einfachen Formen vereinigt sind, heissen 2, 3, 4 ... zählig. Die Flächen der einen einfachen Form sind häufig an Grösse überwiegend; diese heisst der *Träger* der Combination.

10. Offene, geschlossene Formen. Eine besondere Art einfacher Formen lehrt folgendes Beispiel kennen. In Fig. 8 ist ein von den Flächen *b* und *p* begrenzter Kalkspathkrystall abgebildet. Alle 6

Flächen *p* sind gleich, aber von den 2 Flächen *b* verschieden, die Flächen *p* bilden also eine einfache Krystallform und ebenso die Flächen *b*.

Die Flächen *p*, welche sich in 6 parallelen Kanten schneiden, bilden offenbar das in Fig. 8 (rechts) abgebildete sechsseitige Prisma, das den Raum nicht mehr allseitig begrenzt, sondern ihn nach oben und unten offen lässt; die von den beiden Flächen *b* gebildete einfache Form begrenzt dagegen den Raum nur nach oben und unten (Fig. 8, links), lässt ihn dagegen nach allen andern Richtungen hin offen. Man unterscheidet darnach von den *geschlossenen* einfachen Formen, wie z. B. das Oktaëder, die *offenen*; von diesen werden solche, welche den Raum nur in zwei entgegengesetzten Richtungen offen lassen, wie jenes sechsseitige Prisma *p*, allgemein *Prismen* genannt, während die von Fläche und Gegenfläche *b* gebildeten Formen, welche den Raum nur nach zwei entgegengesetzten Richtungen abschliessen, *Pinakoide* heissen.

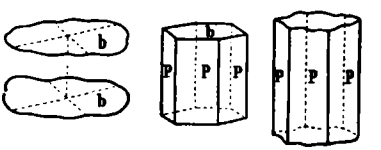

Fig. 8.

Solche offenen Formen können natürlich isolirt oder, wie man zu sagen pflegt, selbständig nicht vorkommen, sondern nur in Combination mit andern (offenen oder geschlossenen) Formen. Die Zahl der aus den Combinationen ableitbaren einfachen Formen ist also um die sämmtlichen offenen Formen grösser als die der selbständig vorkommenden. Uebrigens sind auch noch nicht alle in Combinationen sich findenden geschlossenen einfachen Formen isolirt bekannt; hier liegt aber keine physische Unmöglichkeit vor, sondern es ist zu erwarten oder doch möglich, dass sie mit fortschreitender Kenntniss der Krystallwelt auch selbständig noch gefunden werden.

b. Kanten.

11. Allgemeines. Die Flächen schneiden sich in Kanten, welche gerade verlaufen, wenn die Flächen eben sind; im andern Falle sind sie krumm, wie z. B. beim Diamant (8).

Da die Flächen stets mit ihren parallelen Gegenflächen, also paarweise auftreten, so sind die Kanten stets in einer Anzahl von mindestens vier untereinander parallelen vorhanden (oder würden vorhanden sein, wenn die Flächen weit genug ausgedehnt wären).

Die Kante zweier Flächen P und M wird mit P/M bezeichnet. Kanten, in welchen sich an einer Combination zwei nicht derselben einfachen Krystallform angehörige Flächen schneiden, heissen *Combinationskanten*, z. B. die Kanten *h*/*o* in Fig. 5.

12. Flächenwinkel. In den Kanten stossen die Flächen unter sehr verschieden grossen Winkeln zusammen, welche aber stets bei vollkommen regelmässig ausgebildeten und einheitlich gebauten einfachen Krystallen (6) ausspringend, also im Innern des Krystalls $< 180^0$ sind (vergl. einspringende Winkel der Zwillinge (95) ff.; ebenso (94) bei parallel verwachsenen Individuen).

Die absolute Grösse der Flächenwinkel, d. h. der Winkel, unter welchen zwei Flächen in einer Kante zusammenstossen, ist für die Kenntniss der Krystalle höchst wichtig, und man hat daher den grössten Werth auf eine möglichst genaue Messung derselben zu legen. Diese geschieht mit Hülfe der *Goniometer,* welche als die wichtigsten Instrumente des Krystallographen anzusehen sind. Im Gebrauch ist hauptsächlich das Anlegegoniometer von Carangeot und das Reflexionsgoniometer von Wollaston, vielfach mit den Verbesserungen von Mitscherlich u. A. Dieses letztere giebt, wenn Krystalle mit gutspiegelnden Flächen vorliegen, auf wenige Minuten, ja Secunden genaue Resultate, auch wenn die Flächen klein sind, während das erstere grosse Krystalle mit glatten, wenn auch matten Flächen voraussetzt, aber auch unter den günstigsten Umständen nur auf $^1/_4{}^0$—$^1/_2{}^0$ richtige Näherungsresultate giebt.

Die ebenen Winkel der Kanten (Kantenwinkel) in den einzelnen Flächen lassen sich nicht genau messen, sie lassen sich aber aus den Flächenwinkeln leicht durch Rechnung ermitteln.

13. Anlegegoniometer. Das Anlegegoniometer besteht aus dem in Grade etc. getheilten Kreis *igh* (Fig. 9), dessen Mittelpunkt in *c* sich befindet. Durch *c* gehen zwei Schienen, deren eine *de* um *c* drehbar ist, die andere *hi* nicht. Der untere Rand der Schiene *hi* ist dem Durchmesser 0^0—180^0 des Kreises parallel und *hl* geht verlängert durch *c*. Der Rand de der andern Schiene geht dem bei jedem Azimuth derselben durch den Mittelpunkt *c* sich fortsetzenden Rande *fk* parallel. Die Messung geschieht, indem man den Krystall so zwischen die beiden Schienen *ed* und *hi* bringt, wie das den Krystall darstellende gestrichelte Parallelogramm andeutet. Die zwei Flächen, deren Winkel gemessen werden soll, liegen den äusseren Rändern beider Schienen genau an, was durch Drehung der beweglichen Schiene *de* um *c* bewerkstelligt werden kann. Auch muss die Ebene des Theilkreises auf der zu messenden Kante möglichst genau senkrecht stehen. Der Rand *fk* der beweglichen Schiene *de* bezeichnet am Theilkreis die für den gesuchten Winkel abzulesende Zahl.

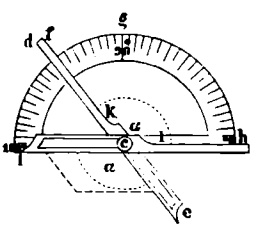

Fig. 9.

Um auch an in Hohlräumen sitzenden Krystallen Winkel messen zu können, hat das Instrument die Einrichtung, dass sich die eine Hälfte des Kreises um ein bei *g* befindliches Charnier umklappen lässt. Die beiden Schienen *de* und *hi* kann man in den in ihnen angebrachten Schlitzen parallel mit sich selbst verschieben, so dass sie nach Bedarf nur mit zwei kleinen Spitzen über *c* hinausragen. Auch kann man bei manchen Instrumenten die beiden Schienen aus dem Theilkreis herausnehmen und wieder einsetzen.

14. Reflexionsgoniometer. Das Reflexionsgoniometer beruht auf folgendem Princip (Fig. 10): Gemessen soll werden der Winkel der beiden Flächen *ac* und *bc* in der Kante *c* (kurz die Kante *c*). Auf der einen Fläche wird das Bild eines leuchtenden Punktes p nach

dem bei *o* befindlichen Auge reflectirt, und somit in der Richtung *ocq* gesehen. Diese kann durch eine in der Verlängerung von *oc* bei *q* angebrachte Marke ein für allemal fest bestimmt werden. Das Auge bleibe stets in *o* und der leuchtende Punkt in *p*, und der Krystall *acb* sei so orientirt, dass *o* und *p* in einer zur Kante *c* senkrechten Ebene liegen (welche die Zeichnungsebene sein soll). Dann bewegt sich das auf *ac* reflectirte Bild von *p* allmählig aus dem Sehfeld heraus, wenn man den Krystall um die Kante *c* als Axe von *a* gegen a^1 hin dreht und verschwindet endlich ganz. Wenn dabei die zweite Fläche *bc* ungefähr in die ursprüngliche Lage der ersten Fläche *ac* gedreht ist, so erscheint das nun auf *bc* reflectirte Bild von *p* wieder im Sehfeld, bewegt sich darin bei weiterem Drehen vorwärts und wird in dem Augenblick wieder genau in der durch die Marke *q* fest bestimmten Richtung *ocq* gesehen, in welchem *bc* nach b^1c in die Verlängerung von *ac* fällt. Der Winkel, um den man dabei drehen muss, ist der Winkel bcb^1 der beiden Flächen *cb* und cb^1, d. h. der Nebenwinkel des zu messenden Winkels acb, welch' letzteren man also erhält, wenn man den gemessenen Winkel bcb_1 von 180° abzieht. Diese Messung kann geschehen, wenn der Krystall so an einem getheilten Kreis befestigt wird, dass die Kante *c* mit dessen Drehaxe genau zusammenfällt.

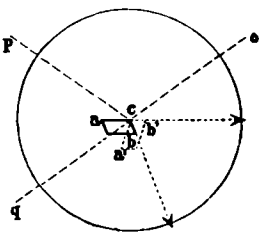

Fig. 10.

Der gemessene Winkel bcb_1 ist offenbar der Winkel der Normalen der beiden Flächen *ac* und *bc*. Man findet diesen direct gemessenen sog. „Normalenwinkel" vielfach statt des eigentlichen Flächenwinkels in den Krystallbeschreibungen angegeben.

15. Wollaston'sches Goniometer. Das ursprüngliche von *Wollaston* 1809 erfundene Reflexionsgoniometer in seiner einfachsten Gestalt ist in Fig. 11 abgebildet (wo man sich zunächst aber den Spiegel *s* und das Fernrohr *e* auf dem Stativ *l*, die spätere Zuthaten sind, wegzudenken hat).

Auf der runden Grundplatte ist das oblonge Messingstück *q* befestigt, auf welchem sich zwei dicke nach oben convergirende Messingfüsse erheben. Dieselben vereinigen sich (hinter dem Theilkreis) zu einer dicken Messingplatte, welche cylindrisch durchbohrt ist, und in dieser Durchbohrung dreht sich die Axe, welche, vorn gegen den Beschauer gerichtet, den Theilkreis trägt. Dieser ist senkrecht zu der Drehaxe, letztere ist horizontal, der Kreis selbst vertikal. Die Drehung dieser Axe mit dem Theilkreis geschieht mittelst des an ihrem hinteren Ende angebrachten grossen runden Knopfs, welcher im Bild am Rande der Scheibe links sichtbar wird. Diese Axe ist auch ihrerseits centrisch durchbohrt und in ihr dreht sich concentrisch eine zweite dünnere Axe mittelst des kleineren Knopfs, welcher unmittelbar links von dem genannten grösseren sichtbar ist. Die Einrichtung ist so getroffen, dass beim Drehen am kleinen Knopf nur die innere Axe bewegt wird, während die äussere mit dem Theilkreis unbeweglich bleibt; dass aber beim Drehen der dickeren äusseren Axe am grossen Knopf die innere Axe von selbst der Drehung folgt.

Am vorderen Ende der inneren Axe ist der Krystallträger *syzhk* befestigt. Der-

selbe lässt sich zunächst zwischen zwei Schienen *s* in radialer Richtung über den Endpunkt der Drehaxe hin verschieben; das zwischen den beiden Schienen verschiebbare Stück ist senkrecht umgebogen und der zum Theilkreis senkrechte Arm trägt bei *y* einen zum Kreis parallelen Stift, um welchen sich das bei *z* senkrecht umgebogene Stück drehen lässt. An diesem ist die Hülse *h* befestigt, in welcher der Stift *k* geradlinig verschoben und auch gedreht werden kann. Dieser Stift *k* hat vorn einen Schlitz, in welchem ein viereckiges Messingplättchen *b* steckt, an das der zu messende Krystall mittelst Wachs angeklebt wird. Dieser muss so befestigt sein, dass die Kante der beiden Flächen, deren Winkel gemessen werden soll, der Drehaxe parallel wird und in ihre Verlängerung fällt; je genauer dies der Fall ist, desto genauer wird auch cet. par. die Messung des Winkels.

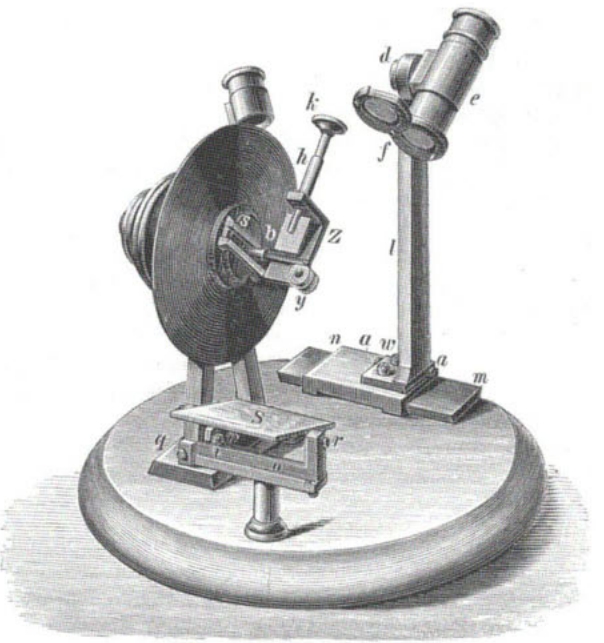

Fig. 11.

Diese Stellung erhält der Krystall zunächst so gut als möglich nach dem Augenmaass, wobei der Stift *k* dem Theilkreis parallel gestellt wird. Um die Kante genauer in die bezeichnete Lage zu bringen, benützt man die beiden zu einander senkrechten Axen *y* und *k*; durch successive Drehung um dieselben kann dem Krystall, also auch der betr. Kante jede beliebige Richtung gegeben werden, also auch diejenige, welche hier erforderlich ist. Zu diesem Zweck stellt man jetzt das Instrument gerade vor einem Fenster so auf, dass der Theilkreis senkrecht zu demselben gerichtet ist; je ferner das als gespiegeltes Object *p* (Fig. 10) benützte Fenster vom Krystall ist, desto genauer wird die Messung. Man bringt, wie überhaupt immer bei diesen Messungen, das Auge so nahe als möglich an den Krystall und lässt nun das Fenster auf der einen Krystallfläche spiegeln, indem man sie durch Drehung am kleinen Knopf in die geeignete Lage bringt. Das Bild des Fensters wird man dabei im allgemeinen schief stehen sehen; durch eine Drehung des Krystallträgers um den Stift *y* wird man es aber leicht dahin bringen können, dass das auf der Fläche gespiegelte Bild des Fensters gerade steht, d. h. dass die horizontalen Sprossen des Fensterkreuzes ebenfalls horizontale Bilder geben und dass die Bilder der vertikalen Sprossen mit den direct gesehenen zusammenfallen. In dieser

Lage ist die Fläche der Drehaxe parallel; durch Drehung dieser Axe wird an dieser Stellung nichts geändert. Dreht man nun den Krystall so, dass das Fenster auf der andern Fläche, deren Winkel zu jener ersten gemessen werden soll, gespiegelt wird, so wird dieses zweite Spiegelbild wieder im allgemeinen schief stehen; dasselbe kann nun durch Drehung des Stiftes *k* in der Hülse *h* gerade gestellt werden; die zweite Fläche ist dann der Drehaxe parallel. Dadurch ist aber die erste Fläche aus ihrer richtigen Lage etwas herausgerückt worden, man muss sie also durch Drehung um *y* von neuem in derselben Weise einstellen, wie oben gezeigt wurde, indem man auf ihr zum zweiten Mal das Fenster spiegeln lässt, dann wieder die zweite Fläche durch Drehung von *k* etc. Nach wenigen Wiederholungen, bei denen die Abweichungen immer kleiner und kleiner werden, sind beide Flächen, also auch deren Kante, sowie sämmtliche andere in derselben Zone liegenden Flächen der Axe parallel, man sagt, der Krystall ist *justirt;* die Spiegelbilder des Fensters gehen dann bei einer vollen Drehung des Krystalls bei unveränderter Stellung des Auges ganz gerade über das Sehfeld hin. Um nun die der Drehaxe parallele Kante auch genau in die Verlängerung von jener zu bringen, die Kante zu *centriren*, ist die innere Drehaxe noch einmal cylindrisch durchbohrt und es geht ein runder Stift hindurch, der vorn eine scharfe Schneide hat, welche genau in die Axe fällt. Der Krystallträger wird nun in den Schlitten *s* und senkrecht dazu der Stift *k* längs der Hülse *h* verschoben, bis die zu messende Kante genau an der Schneide anliegt, was mittelst dieser beiden Bewegungen stets möglich ist. Fehlt der Stift, so wird das Centriren nur nach dem Augenmass bewerkstelligt; jedenfalls aber ist zu controliren, ob dabei nicht die Flächen aus ihrer richtigen Lage gekommen sind, eventuell ist die Justirung zu corrigiren.

Die Messung selbst geschieht dann dadurch, dass man eine bestimmte horizontale Kante an dem Fenster ins Auge fasst und den Krystall durch Drehen an dem kleinen Knopf so stellt, dass ihr Spiegelbild auf der einen Fläche in geeigneter Richtung mit einer direct gesehenen Marke, welche man vor dem Instrument in möglichst grosser Entfernung wählt, zusammenfällt. Dann dreht man am grossen Knopf, bis dasselbe mit dem Spiegelbild der nämlichen Fensterkante auf der zweiten Fläche der Fall ist. Die vor und nach der letztern Drehung abgelesenen Winkel geben, von einander subtrahirt, den Normalenwinkel (das Supplement des Winkels) der beiden Flächen. Die Messung wird durch Repetition genauer: man dreht an dem kleinen Knopf den Krystall so, dass die erste Fläche wieder in die ursprüngliche Lage kommt, und dreht wieder am grossen Knopf, bis dasselbe auch mit der zweiten Fläche abermals der Fall ist etc. Abzulesen ist nur vor und nach dem Beginn der Messung nöthig; der ermittelte Winkel ist ein Multiplum des gesuchten, den man durch Division mit der Anzahl der Einstellungen der zweiten Fläche erhält als arithmetisches Mittel aus allen Einzeleinstellungen des Winkels.

Eine Verbesserung dieses einfachsten Instruments ist der Spiegel *s*, der um eine der Drehaxe des Instruments parallele Axe *r* drehbar ist. Das Fenster wird gleichzeitig auf der Krystallfläche und dem Spiegel reflectirt. Das auf dem Spiegel reflectirte Bild bleibt bei der Drehung des Krystalls unverändert stehen, kann also anstatt der direct gesehenen Marke *q* (Fig. 10) benützt werden. Diese beiden Reflexbilder sind viel bequemer gleichzeitig zu beobachten als das Spiegelbild auf der Krystallfläche und eine möglichst ferne Marke *q*, und die Messung ist daher mit diesem Spiegel leichter und auch genauer als ohne diesen.

Damit immer genau in derselben Richtung visirt wird, ist weiter das um die horizontale Axe *d* in einer zum Theilkreis parallelen Ebene drehbare Fernrohr *e* auf dem Stativ *l* angebracht worden, das genau auf die Drehaxe gerichtet wird. Vor die Objectivlinse desselben kann eine weitere Linse eingeschaltet werden, die man durch Drehung um einen Stift *f* vor der vorderen Oeffnung des Fernrohrs anbringen und wieder entfernen kann. Mit dieser Linse wirkt das Fernrohr als Lupe, mittelst welcher das Centriren mit grösserer Genauigkeit vorgenommen werden kann: man schiebt den Krystall so, dass die zu messende Kante in das Fadenkreuz des Fernrohrs fällt. Das Fernrohr lässt sich mit seinem Stativ längs der Platte *mn* in der Richtung der Drehaxe des Instruments etwas verschieben, um das Fadenkreuz auf Krystalle richten zu können, welche nicht immer genau in derselben Entfernung von dem Theilkreis aufgeklebt sind. Bei der Beobachtung der Reflexe zur Justirung und Messung muss die Linse wieder zurückgeschlagen werden.

Natürlich kann statt des als gespiegeltes Object benützten Fensters auch etwas anderes angewendet werden, namentlich wenn man das Fernrohr *e* gebraucht. In diesem Fall nimmt man zweckmässig eine kleine, möglichst entfernte Lichtflamme, welche in der durch das Fernrohr gegebenen Vertikalebene liegen muss. Man controlirt dies, indem man das Licht direkt mit dem Fernrohr anvisirt, das man zu diesem Zweck um die horizontale Axe nach oben dreht; das Licht muss dann in das Fadenkreuz fallen, und wenn dies nicht der Fall ist, muss das Instrument auf seiner Unterlage gedreht werden, bis diese Coincidenz eintritt; dann hat das Instrument gegen das Licht die richtige Stellung.

Das vorstehend beschriebene Instrument giebt die Winkel guter Flächen auf eine Minute genau. Noch genauere Messungen erfordern einen Centrir- und Justirapparat, von grösserer Vollkommenheit als den eben beschriebenen, der nur eine annähernde Einstellung der Krystallkante gestattet. Ein solcher vollkommener Centrir- und Justirapparat, der leicht mit dem vertikalen Kreis verbunden werden kann, ist in (15a) beschrieben. Ein mit einem solchen versehenes vollkommeneres Instrument hat zuerst *Mitscherlich* construirt, der auch zuerst mit dem Wollaston'schen Instrument das schon erwähnte Fernrohr verband und ebenso noch ein zweites Fernrohr, dem ersten gegenüber auf der andern Seite des Krystallträgers stehend, beide Fernrohre in einer auf der Drehaxe senkrechten Vertikalebene gelegen. Auch dieses zweite Fernrohr, das Collimatorrohr, ist mit dem einen Ende auf die Drehaxe gerichtet und kehrt das andere Ende nach oben und aussen, dem Ocular des ersten, des Beobachtungsfernrohres, entgegengesetzt. Es dient dazu, die Richtung des einfallenden Lichts genau zu fixiren; seine Einrichtung ist wie die des Beleuchtungsfernrohrs *C* in (15a).

Vollkommenere Instrumente dieser Art siehe: *V. v. Lang*, Denkschr. Wiener Ak. 1875; *Brezina*, Jahrb. k. k. geol. Reichsanstalt, 1884, pag. 321, vergl. auch (4) B.; *Klein*, Krystallographie (siehe (3) B.); *Liebisch*, siehe (15a). Die ersten Goniometer dieser Art: *Wollaston*, Gilb. Ann. Bd. 37, 1811, pag. 357 und *Mitscherlich*, Abh. Berl. Akad. 1843, pag. 189.

15a. Goniometer mit horizontalem Kreis. Solche vollkommenere mit einem grösseren Theilkreis versehene Instrumente werden heutzutage vielfach nicht mehr mit vertikalem Kreis construirt, sondern dieser wird nach dem Vorschlage von *Babinet* horizontal gelegt, die Drehaxe sowie die zu messenden Krystallkanten stehen dann vertikal. Der Vortheil davon ist, dass man auch grosse Krystalle messen kann, welche sich bei horizontaler Axe wegen zu bedeutenden Gewichts kaum stabil am Instrument befestigen lassen; ferner werden bei dieser Anordnung die drehenden Theile weniger und nicht einseitig abgenützt. Im Uebrigen ist aber die Einrichtung eines solchen Instruments, wie es in Fig. 12 im Durchschnitt abgebildet ist, von einem solchen mit Vertikalkreis nicht wesentlich verschieden.

Ein messingener Dreifuss mit Stellschrauben trägt das an das eine Bein fest angeschraubte Beleuchtungsfernrohr *C*, sowie eine horizontale dicke Messingplatte, welche centrisch bei *o* eine nach unten sich verjüngende conische Durchbohrung hat. Darin steckt eine erste hohle Axe *b*, welche den Nonienkreis *d* trägt und an der unten eine Scheibe *c* befestigt ist, an welcher die bei *α* befindliche Klemm- und Einstellvorrichtung angreift. An dem Nonienkreis ist das auf dem Stativ *B* befindliche Beobachtungsfernrohr festgeschraubt. In der Axe *b* steckt die zweite conischhohle Axe *e*, zu welcher der Limbus mit der Theilung bei *f* normal, also horizontal befestigt ist; diese Axe *e* hat unten den Knopf *g* und die Klemm- und Einstellvorrichtung *β*. In dieser Axe *e* steckt eine dritte conische Axe *h*, welche cylindrisch durchbohrt ist und den Stahlcylinder *s* aufnimmt, an dem oben der Krystallträger befestigt ist.

Unten trägt sie einen Knopf *i*, der von der sog. Centralschraube *k* durchbohrt ist, mittelst welcher man den Cylinder *s* mit dem Krystallträger höher und niedriger stellen kann. Die Schraube *l* dient dazu, eine feste Verbindung zwischen der Axe *h* und *e* herzustellen, so dass sie sich nur zusammen drehen können; nach Lösung der Schraube *l* dreht sich jede Axe selbständig; eine Klemmschraube bei *p* erlaubt eine feste Verbindung zwischen *s* und *h* herzustellen oder zu lösen.

Auf der Säule *s* ist der Krystallträger befestigt, der aus der Centrir- und Justirvorrichtung besteht. Die Justirvorrichtung wird gebildet von zwei Halbcylindern, von denen einer bei *t* sichtbar ist; an demselben ist unten ein Theil eines kreisförmigen Zahnrades befestigt, in dessen Zähne die Schraube ohne Ende *x* eingreift und den

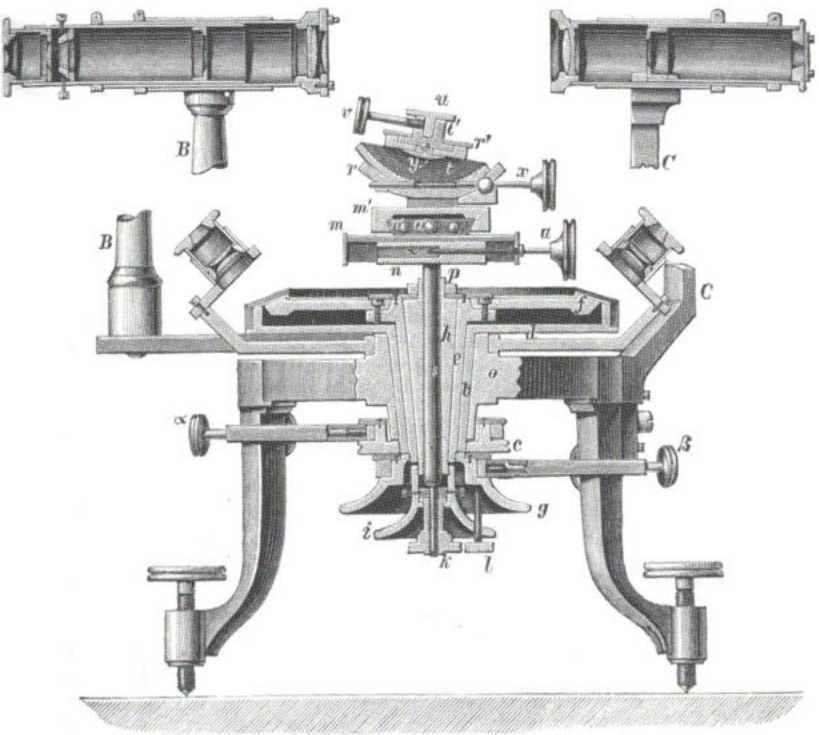

Fig. 12.

Cylinder um eine zu *s* und zu *x* senkrechte Axe in der hohlen Cylinderschale *r* dreht. Eine zweite genau gleiche nur etwas kleinere Vorrichtung ist auf die erstere bei *y* aufgesetzt; hier dreht sich der zweite Halbcylinder *t'* mittelst einer zu *x* und auf der Zeichnungsebene senkrechten Schraube ohne Ende *y* senkrecht zum ersten Cylinder *t* in der hohlen Cylinderschale *r'*. Dieser zweite Cylinder *t'* trägt oben das mit der Schraube *v* zu befestigende Plättchen *u*, auf das der zu messende Krystall aufgeklebt wird. Durch Drehung der die beiden Cylinder in Bewegung setzenden Schrauben *x* (die andere ist in der Zeichnung nur als kleiner Kreis über *y* zu sehen) kann dann der Kante des Krystalls jede beliebige Neigung gegeben werden.

Die Centrirvorrichtung *m n* besteht aus zwei Schlitten, welche normal zur Stange *s* in zwei zu einander senkrechten Richtungen verschoben werden können. Eine Schraube *a* bewegt den unteren Schlitten *m* über *n* weg von rechts nach links; eine dazu senkrechte in *a'* sich projicirende Schraube bewegt den zweiten Schlitten

m' über die auf m befestigte Schiene n' weg von vorn nach hinten. Der zweite Schlitten m' trägt seinerseits den oben beschriebenen Justirapparat, man kann also den justirten Krystall mittelst der beiden Schlitten ins Centrum bringen. Der Krystall selbst wird mit der zu messenden Kante aufrecht mittelst Wachs auf das Plättchen u geklebt, welches durch die Schraube r fest mit der Justirvorrichtung verbunden werden kann.

Das Beleuchtungsfernrohr (Collimator) C trägt nach innen ein achromatisches Objectiv und nach aussen im Brennpunkt des letzteren eine Spalte mit geraden oder in der Mitte sich verjüngenden Wänden, oder eine anders gestaltete Oeffnung (das Signal). Diese wird intensiv beleuchtet, das Licht fällt auf die Linse, tritt parallel aus und zwar, da dies Fernrohr genau auf die Drehaxe gerichtet ist, in der Richtung auf letztere hin, in deren Fortsetzung der Krystall nach dem Augenmass möglichst genau centrirt und justirt auf das Plättchen u aufgesetzt ist. Auch das Beobachtungsfernrohr B ist genau auf die Drehaxe gerichtet; es vergrössert nicht oder sehr wenig. Durch Vorstecken einer Linse kann es in eine Lupe verwandelt werden, mittelst welcher man den bei u befindlichen Krystall deutlich sieht.

Der Krystall wird nun zunächst centrirt, indem man die beiden Schlitten m und m' mittelst der Schrauben a und a' bewegt, bis bei einer vollen Umdrehung des Knopfes i (bei loser Schraube l) der Krystall im Fadenkreuz des in eine Lupe verwandelten Fernrohrs unverrückt stehen bleibt; dann wird die Justirung bewirkt, indem man das Signal des Beleuchtungsfernrohrs zuerst auf der einen, dann auf der andern der zu messenden Flächen reflectiren lässt und jedesmal an den Schrauben des Justirapparats den Krystall so lange dreht, bis die vertikale Spalte jenes Beleuchtungsfernrohrs mit dem vertikalen Kreuzfaden im Fernrohr coincidirt. Schliesslich wird die zu messende Kante noch einmal fein centrirt. Die Messung selbst ergiebt sich dann nach dem beim Wollaston'schen Instrument angegebenen leicht von selbst.

(Ein solches Instrument dient auch zur Bestimmung der Brechungscoëfficienten. (140. 147. 154.)) (*Websky*, Zeitschr. für Kryst. IV. 545; weitere Litteratur über Goniometer siehe: Liebisch, Ber. über die wissensch. Instrumente der Berl. Gewerbeausstellung, 1880, pag. 321 und Handwörterbuch für Chemie, Artikel Krystallographie, pag. 160 ff.).

16. Gleiche Kanten. *Gleiche Kanten* eines Krystalls sind solche, in welchen sich beziehungsweise gleiche Flächen unter gleichen Winkeln schneiden. Hat man z. B. ein oblonges Prisma (Fig. 13), dessen zwei ungleiche Flächenpaare a und b sich rechtwinklig schneiden, so sind alle vier Kanten K einander gleich, da jede gebildet ist von zwei unter 90^0 zusammenstossenden Flächen a und b. Ist dagegen das Prisma ein rhombisches (Fig. 14), d. h. gebildet von zwei gleichen, aber schiefwinklig sich schneidenden Flächenpaaren (also vier gleichen Flächen) a, so sind zwar je zwei gegenüberliegende Kanten K resp. K^1 gleich, da sie gebildet sind von den gleichen Flächen a, welche unter den gleichen Winkeln α resp. α^1 zusammenstossen; aber K ist von K^1 trotz der Gleichheit der Flächen a an beiden Kanten verschieden, da der Winkel das eine Mal α, das andere Mal $\alpha^1 = 180^0 - \alpha$ ist. Stets ist eine Kante gleich der ihr diametral gegenüberliegenden.

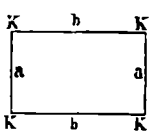

Fig. 13.

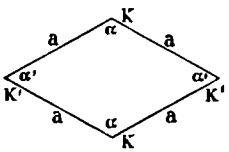

Fig. 14.

In dem Staurolithkrystall (Fig. 15) sind die Kanten m/o rechts und links einander gleich, weil auf beiden Seiten m und o sich unter gleichen Winkeln von $115^0\ 17'$ schneiden; ebenso sind die Kanten m/r rechts und links von r oben und unten am Krystall gleich; da alle diese $\measuredangle\, m/r = 137^0\ 58'$, also einander gleich und von denselben Flächen m und r gebildet sind.

c. Ecken.

17. Ecken. Die Ecken entstehen dadurch, dass 3, 4,...n Flächen und Kanten in einem Punkt zusammenstossen. Man nennt eine Ecke z. B. 4kantig oder 4flächig, wenn sie von 4 gleichen Kanten resp. Flächen gebildet wird. 2+2kantig resp. =flächig, wenn in ihr je 2 und 2 gleiche Kanten resp. Flächen zusammenstossen etc.

Gleiche Ecken eines Krystalls sind solche, in denen gleich viele einander beziehungsweise gleiche Flächen und Kanten in der gleichen Ordnung aufeinander folgen, wobei diese Reihenfolge im gleichen Sinn oder im entgegengesetzten Sinne möglich ist.

Der Staurolithkrystall (Fig. 15) hat z. B. an der vertikalen Kante *m*/*m* zwei gleiche Ecken *mrm*, beide gebildet von den drei Flächen *m*, *m*, *r*; ferner von der Kante *m*/*m* und den beiden gleichen Kanten *m*/*r*, *r*/*m*, welche an beiden Ecken in der angegebenen Reihe auf einander folgen. Die beiden oberen Ecken *mrp* rechts und links von *r* sind ebenfalls einander gleich; an beiden folgen sich die drei Flächen *mrp* in der von den Buchstaben angegebenen Reihe, bei der einen rechts, bei der andern linksherum und ebenso bei beiden die Kanten *m*/*r*, *r*/*p*, *p*/*m*; in beiden Ecken folgen sich also in der That dieselben Flächen und Kanten in derselben Reihenfolge aber im entgegengesetzten Sinne; die beiden Ecken *mrp* an der unteren Fläche *r* sind den beiden genannten ebenfalls gleich.

Jede Ecke ist stets der ihr diametral gegenüberliegenden Ecke (der Gegenecke) gleich.

C. Gesetze, nach welchen die Begrenzungselemente der Krystalle angeordnet sind.

a. Gesetz der Winkelconstanz.

18. Winkelconstanz. Untersucht man alle gleichbegrenzten Krystalle derselben Substanz, so findet man, dass die entsprechenden Flächen sich in gleichliegenden Kanten stets unter denselben Winkeln schneiden. Bei fernerer Untersuchung findet man, dass dieselben Winkel auch dann wiederkehren, wenn man sie an Krystallen misst, an denen ausser jenen Flächen noch andere vorhanden sind oder an denen auch einige von ihnen fehlen. Kurz, es ist ein ausnahmslos festgestelltes Gesetz: *An sämmtlichen Krystallen derselben Substanz schneiden sich entsprechende Flächen in gleich liegenden Kanten stets unter gleichen Winkeln.* Dies ist das *Gesetz der constanten Flächenwinkel* oder, weil aus ihm von selbst auch die Gleichheit gleichliegender Kantenwinkel folgt, allgemein das *Gesetz der Winkelconstanz.*

Dabei ist aber abzusehen von unvermeidlichen kleinen Messungsfehlern und von kleinen Unregelmässigkeiten in der Ausbildung der Krystalle, welche kleine Abweichungen zur Folge haben.

Misst man die Winkel der Flächen an den oktaëdrischen Krystallen des Magneteisens (Fig. 3), so findet man an allen Kanten stets $109^0\ 28'$, und zwar auch dann, wenn, wie es häufig vorkommt, statt den Kanten andere Flächen, z. B. ∞O vorhanden sind, wie in Fig. 45, oder wenn noch andere Modificationen des oktaëdrischen Körpers eingetreten sind (Fig. 63). Unter denselben Winkeln schneiden sich stets die Flächen o des Flussspathkrystalles (Fig. 5), während sich die Flächen h stets unter 90^0 schneiden; die Flächen o und h machen stets $125^0\ 16'$. Die beiden Flächen, auf denen der ausgezeichnete Farbenschiller im Labradorfeldspath (siehe diesen) stattfindet, schneiden sich in allen Krystallen unter 134^0; die Flächen, denen im Kalkspath die Blätterbrüche parallel gehen, unter $105^0\ 5'$. Beim Staurolith findet man an allen Krystallen von der Form Fig. 15 $\measuredangle\ m'm = 129^0\ 26'$; alle $\measuredangle\ m'r = 137^0\ 58'$; alle $\measuredangle\ m/o = 115^0\ 17'$; alle $\measuredangle\ m'p = 90^0$ und $o/p = 90^0$ etc. Dieselben Winkel $m\,m$, $m'r$ etc. findet man aber auch an Krystallen, an welchen die Flächen r fehlen, oder wo zu den angegebenen Flächen noch weitere hinzugetreten sind.

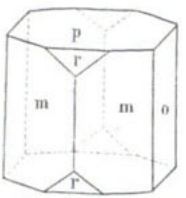

Fig. 15.

Fig. 16.

19. Parallelverschiebung der Flächen. Wenn man sämmtliche oktaëdrischen Krystalle von Magneteisen vergleicht, deren acht gleiche Flächen sich unter dem stets wiederkehrenden Winkel von $109^0\ 28'$ (resp. dessen Supplement von $70^0\ 32'$) schneiden, so haben sie z. Th. die Form Fig. 3; andere haben aber die etwas abweichende Form Fig. 17 oder Fig. 18, und noch viele andere ähnliche Gestalten dieser achtflächig begrenzten Krystalle kommen vor. Alle diese Gestalten müssen für krystallographisch gleich gehalten werden trotz ihrer grossen geometrischen Verschiedenheit, denn in jeder schneidet sich eine gleich grosse Anzahl unter einander gleicher Flächen in gleichliegenden Kanten unter gleichen Winkeln, so dass sich alle diese Formen nur durch die Gestalt, den Umfang und die Grösse der Begrenzungsflächen unterscheiden, welche ja aber krystallographisch ganz unwesentlich sind (8). Es ist nun aber leicht einzusehen, dass man die eine dieser Formen z. B. Fig. 18 aus den andern z. B. Fig. 3 dadurch entstanden denken kann, dass zwei Flächen parallel mit sich selbst um einen entsprechenden Betrag nach aussen rücken; dadurch wird ja weder an der physikalischen Beschaffenheit derselben noch an den Flächenwinkeln das Mindeste geändert. Ebenso kann durch Parallelverschiebung der Flächen die Form Fig. 3 in die Fig. 17 übergeführt werden und umgekehrt, wie die punktirten Linien zeigen. Ferner findet man häufig von den oben (18.) erwähnten Flächen begrenzte Stauro-

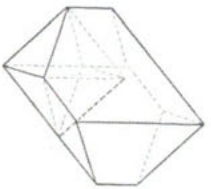
Fig. 17.

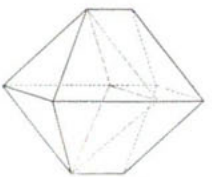
Fig. 18.

lithkrystalle, die aber nicht die Form Fig. 15, sondern die Form Fig. 16 haben. Beide Formen lassen sich ohne Aenderung der krystallographisch allein in Betracht kommenden Winkel und der Flächenbeschaffenheit in einander überführen, wenn man die Flächen *o* parallel mit sich etwas nach innen, resp. nach aussen schiebt. Aus allem diesem folgt, dass man sich die Krystallflächen nicht als starr und unbeweglich vorstellen darf, wie die Begrenzungsebenen geometrischer Körper, sondern sie müssen parallel mit sich beweglich gedacht werden, und man hat den Satz: *Jede Krystallfläche kann in beliebiger Weise parallel mit sich selbst verschoben werden, ohne dass an der betr. Krystallform dadurch etwas Wesentliches geändert wird.*

Aus der Parallelverschiebbarkeit der Flächen folgt auch, dass die Grösse der Krystalle eine unwesentliche Sache sein muss. In der That findet man auch von derselben Substanz Krystalle von krystallographisch gleicher Form in der verschiedensten Grösse, so z. B. Quarzkrystalle von mikroskopischer Kleinheit bis zu mehreren Centnern Gewicht.

20. Winkel verschiedener Substanzen. Die an den verschiedenen Krystallen derselben Substanz stets wiederkehrenden Winkel findet man im Allgemeinen nicht an Krystallen anderer Substanzen. Die *Winkel, welche die Flächen der Krystalle einer Substanz mit einander machen, sind für diese Substanz charakteristisch*; man kann diese daran wiedererkennen und von andern Substanzen unterscheiden, auch wenn die Krystalle der verschiedenen Substanzen sonst ausserordentlich ähnlich sind. So giebt es z. B. sog. Rhomboëder (Fig. 127) von Kalkspath, deren Flächen sich unter 105° 5′ schneiden; äusserlich häufig ununterscheidbar davon sind die Rhomboëder des Magnesit, wenn man nicht die Winkel misst, die hier 107° 28′ betragen. Nur die Formen des regulären Systems (58—64) und einige wenige andere sind für alle Substanzen ohne Ausnahme stets dieselben.

21. Ideale Krystallformen. Denkt man sich alle Flächen eines Krystalls parallel mit sich so verschoben, dass je alle gleichen Flächen von einem beliebigen Punkt im Innern des Krystalls, dem sog. *Mittelpunkt* desselben gleich weit entfernt sind, so schneiden sich diese Flächen wegen ihrer regelmässig-symmetrischen Vertheilung um den Krystallmittelpunkt (41 ff.) so, dass alle krystallographisch gleichen Flächen auch gleiche Form und Grösse erhalten, also congruent werden. Solche Formen, wo die krystallographisch gleichen Flächen auch geometrisch gleich sind, heissen *ideale Krystallformen*, man sagt, ihre Flächen seien *im Gleichgewicht*. Sie unterscheiden sich aber krystallographisch nicht wesentlich von den andern Formen, bei welchen die krystallographisch gleichen Flächen ungleiche Gestalten und Umrisse haben und welche durch paralleles Verschieben der Flächen aus ihnen abgeleitet werden können. Diese letzteren nennt man zuweilen unpassender Weise *verzerrte Formen* oder *Verzerrungen*. Eine ideale Form ist z. B. das in Fig. 3 dargestellte Oktaëder; verzerrte Oktaëder stellen Fig. 17 und 18 dar. Ideale Formen kommen in vollkommener Ausbildung wohl niemals in der Natur vor, stets sind die Krystalle mehr oder

weniger „verzerrt". Nicht selten geht die „Verzerrung" so weit, dass von der idealen Gestalt sehr bedeutend abweichende, davon scheinbar total verschiedene Formen entstehen, welche auf die letzteren oft nur mit Hülfe von Winkelmessungen zurückgeführt werden können, indem man aus der Gleichheit gewisser Winkel in beiden Krystallen, umgekehrt wie in (18), die respective Gleichheit der betreffenden, den Winkel einschliessenden Flächen an denselben folgert.

Hätte man z. B. an einem „verzerrten" Staurolithkrystall einen Winkel von $129^0\ 26'$ gemessen, so würde man daraus mit Sicherheit schliessen, dass die betreffenden Flächen diejenigen des Prismas m sind etc.

Diese idealen Formen werden gewählt, wenn man die Krystalle plastisch als Modelle darstellen oder wenn man sie zeichnen will. Man ersieht dann aus den Umrissen die Gleichheit und Zusammengehörigkeit der Flächen, resp. die Verschiedenheit derselben. An den idealen Formen ist die Uebersicht über die einzelnen Flächen und einfachen Formen am leichtesten und bequemsten. Daher wird nicht selten die ganze Krystallographie auf denselben aufgebaut, was aber den Anfänger leicht zu der falschen Meinung führen kann, als seien die idealen Formen etwas krystallographisch Vollkommeneres, als die „Verzerrungen". Dies ist aber durchaus nicht der Fall, sie sind im Gegentheil Abstractionen, welche in absoluter Vollkommenheit in der Natur wohl nie vorkommen.

b. Das Gesetz der rationalen Kantenschnitte.

22. Kantenschnitte. Sind XOY, YOZ, ZOX drei beliebige Flächen eines Krystalls (Fig. 19), welche sich in dem Punkt O und in den drei Kanten OX, OY, OZ schneiden, und trifft eine vierte Fläche ABC diese drei Kanten in A, B, C, so ist diese letztere in ihrer Lage gegen die drei ersten Flächen vollkommen unzweideutig bestimmt, wenn man die drei Abschnitte (Kantenabschnitte) OA, OB, OC kennt. Verschiebt man nun die Fläche ABC parallel mit sich nach $A^1\ B^1\ C^1$, so ist diese neue Lage der Fläche durch die Kantenabschnitte OA^1, OB^1, OC^1 gegeben und zwar ist offenbar:

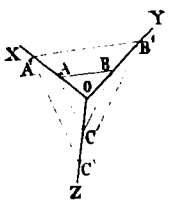

Fig. 19.

$$OA : OA^1 = OB : OB^1 = OC : OC^1 \text{ oder}$$
$$OA : OB : OC = OA^1 : OB^1 : OC^1$$

Wenn also bei dieser Parallelverschiebung auch die absoluten Werthe der Kantenabschnitte der Fläche sich ändern, so bleibt doch das Verhältniss derselben stets das nämliche. Da nun diese beiden parallelen Flächen als krystallographisch ident, als eine und dieselbe Krystallfläche, zu betrachten sind (19), so ist diese Fläche offenbar krystallographisch in ihrer Lage gegen jene drei Flächen und Kanten vollkommen bestimmt durch das allen den verschiedenen Parallellagen derselben gemeinsame Verhältniss der Abschnitte: $OA : OB : OC$, während die absolute Grösse dieser letzteren gleichgültig ist.

Setzt man nun $OA^1 = r \cdot OA$, so ist $OB^1 = r \cdot OB$; $OC^1 = r \cdot OC$, da nur so das Verhältniss $OA : OB : OC$ erhalten bleibt. Man kann daher auch sagen: *Die drei Kantenabschnitte einer Fläche lassen sich mit einer beliebigen Zahl multipliciren (oder dividiren),* ohne dass die durch die neuen Abschnitte dargestellte Fläche krystallographisch

eine andere wird. Die Fläche mit den neuen Abschnitten ist parallel mit der ersten und die Multiplication (oder Division) ist der algebraische Ausdruck der Parallelverschiebung.

Ist die Fläche einer oder zwei von den drei Kanten parallel, so sind die auf diese Kanten bezüglichen Abschnitte $= \infty$.

23. Rationale Kantenschnitte. Wählt man aus sämmtlichen Begrenzungsflächen eines Krystalls drei beliebige aus, welche sich in drei von einem Punkt O ausgehenden Kanten OX, OY, OZ schneiden (Fig. 20), so ist irgend eine ebenso beliebige vierte Fläche ABC, welche die drei Kanten in A, B, C trifft, durch das Verhältniss der Abschnitte $OA : OB : OC = a : b : c$ in ihrer Lage (Neigung) gegen die Kanten OA, OB, OC und damit auch gegen jene drei Flächen krystallographisch unzweideutig gegeben. Ebenso ist dies der Fall für eine beliebige fünfte Fläche MNP durch das Verhältniss der Abschnitte: $OM : ON : OP = m : n : p$. Bildet man nun die Quotienten je der auf dieselbe Kante bezüglichen Abschnitte $\frac{m}{a}, \frac{n}{b}, \frac{p}{c}$, so kann man setzen: $\frac{m}{a} : \frac{n}{b} : \frac{p}{c} = h : k : l$.

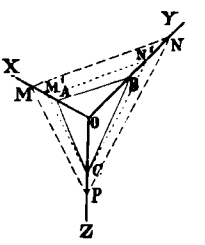

Fig. 20.

Nach einer bei allen bisher untersuchten Krystallen ohne Ausnahme gemachten Erfahrung sind nun die Krystallflächen stets so gruppirt, d. h. ihre gegenseitigen Neigungen sind so, dass diese Zahlen h, k, l rational, d. h. durch ganze Zahlen völlig exact ausdrückbare Grössen, also entweder direkt ganze Zahlen (incl. ∞) oder ächte oder unächte Brüche sind, m. a. W. jene drei Quotienten $\frac{m}{a}$ etc. verhalten sich stets wie rationale Grösse (∞ mit eingeschlossen), also z. B. $\frac{m}{a} : \frac{n}{b} : \frac{p}{c} = 1 : 2 : 3$ oder $= \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4}$ oder $= 2 : 3 : \frac{2}{3}$ oder $= \infty : 1 : 1$, in welch' letzterem Fall die betr. Fläche mit der Kante OX parallel ist. Dagegen sind Verhältnisse: $\frac{m}{a} : \frac{n}{b} : \frac{p}{c} = \sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{5}$ oder $= lg\ 2 : log\ 3 : log\ 5$ *etc.* als irrational durchweg ausgeschlossen.

Da man ein Verhältniss von Brüchen stets in ein solches von ganzen Zahlen umwandeln kann, also z. B. $\frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} = 6 : 4 : 3$, so kann man auch ebenso allgemein sagen, die Flächen aller Krystalle sind so gruppirt, dass h, k, l stets *ganze* Zahlen sind, dass sich jene drei Quotienten stets wie *ganze* Zahlen verhalten. Dabei sind a, b, c, m, n, p und ebenso $\frac{m}{a}, \frac{n}{b}, \frac{p}{c}$ je für sich betrachtet im allgemeinen irrational. Dasselbe, was für die Abschnitte m, n, p der fünften Fläche gilt, gilt für die Abschnitte einer sechsten etc. Fläche.

Dies ist das *Gesetz der rationalen Kantenschnitte*, das Hauptgesetz der Krystallographie, welches unter Zugrundelegung der obigen Aus-

einandersetzungen so ausgesprochen werden kann: *Die Flächen aller Krystalle liegen so gegeneinander (schneiden sich unter solchen Winkeln), dass die drei Quotienten je der beiden Stücke, welche zwei beliebige Flächen auf jeder der drei von einem Punkt ausgehenden und von drei beliebigen andern Flächen desselben Krystalls gebildeten Kanten abschneiden, sich stets wie rationale (ganze) Zahlen (∞ eingeschlossen) verhalten.*

23a. Man kann dies noch etwas anders fassen. Wenn $\frac{m}{a} : \frac{n}{b} : \frac{p}{c} = h : k : l$ ist, so kann man ganz allgemein setzen:

$$m = r \,.\, ah\,;\; n = r \,.\, bk\,;\; p = r \,.\, cl,$$

wo r eine beliebige Zahl ist. Dividirt man nun diese drei Abschnitte m, n, p mit r (22), so erhält man:

$$m = ha\,;\; n = kb\,;\; p = lc,$$

die Abschnitte m, n, p der fünften Fläche MNP können somit als rationale Vielfache der Abschnitte a, b, c der vierten Fläche ABC je auf derselben Kante dargestellt werden, d. h. als solche, wobei die Coëfficienten h, k, l von a, b, c stets rationale (ganze) Zahlen sind (∞ eingeschlossen). Ebenso können die Abschnitte m_1, n_1, p_1 einer sechsten Fläche $M_1N_1P_1$ in den Abschnitten a, b, c ausgedrückt werden:

$$m_1 = h_1\ a,\;\; n_1 = k_1\ b,\;\; p_1 = l_1\, c,$$

wo h_1, k_1, l_1 wieder rationale (ganze) Zahlen sind. So ist dieses für jede andere Fläche möglich und stets sind die Coëfficienten h_1, k_1, l_1, etc. der Abschnitte a, b, c der vierten Fläche rationale (ganze) Zahlen. Das Gesetz der rationalen Kantenschnitte kann also auch ausgesprochen werden: *Die Abschnitte, welche die Flächen eines Krystalls auf drei von drei andern Flächen desselben Krystalls gebildeten Kanten machen, können als rationale (ganze) Vielfache der Abschnitte ausgedrückt werden, die eine beliebige vierte Fläche des Krystalls von jenen drei Kanten abschneidet.*

Endlich: denkt man sich (Fig. 20) jene fünfte Fläche MNP, welche von den drei Kanten OA, OB, OC Stücke in dem Verhältniss: $m : n : p = ha : kb : lc$ abschneidet, parallel mit sich durch einen der drei Punkte A, B, C, also hier z. B. durch C gelegt, in welchem die vierte Fläche ABC die Kante OZ trifft, so dass MNO nun die Lage $M'N'C$ hat, so schneidet sie von dieser Kante ein Stück $OC = c$ ab und von den Kanten OX und OY die Stücke:

$$OM' = m' = \frac{h}{l}\, a = h'a \quad \text{und} \quad ON' = n' = \frac{k}{l}\, b = k'b\,,$$

wo $h' = \frac{h}{l}$ und $k' = \frac{k}{l}$. Eine weitere durch den Punkt C gehende Fläche $M''N''C$ ist unzweideutig gegeben durch die Abschnitte: $m'' = h''a$; $n'' = k''b$ und so jede andere Fläche des Krystalls, die man durch C hindurch legt. Die Abschnitte dieser Flächen auf der Kante OX und OY sind nun:

$$m' = h'a\,;\; m'' = h''a\,;\; m''' = h'''a\,;\; \ldots\ldots$$
$$n' = k'b\,;\; n'' = k''b\,;\; n''' = k'''b\,;\; \ldots\ldots$$

es verhält sich daher:

$$m' : m'' : m''' : \ldots\ldots = h' : h'' : h''' : \ldots\ldots$$
$$n' : n'' : n''' : \ldots\ldots = k' : k'' : k''' : \ldots\ldots$$

Da nun h, k, l etc. rationale (ganze) Zahlen sind, so müssen h', k', etc. ebenfalls rational sein und man kann das Gesetz der rationalen Kantenschnitte auch so aussprechen: *Legt man alle Flächen eines Krystalls durch denselben Punkt der einen der drei Kanten, so schneiden sie auf jeder der beiden andern Kanten Stücke ab, welche zu einander in rationalen Verhältnissen stehen* (vergl. das Beispiel (25)).

24. Mögliche Krystallflächen. Krystallreihe. An jedem Krystall findet sich natürlich nur eine bestimmte endliche und zwar meist nicht sehr grosse Zahl von Flächen ausgebildet, und diese sind alle nach dem oben genannten Gesetze gruppirt. Man muss hieraus schliessen, dass wenn an dem Krystall (oder einem andern sonst ganz gleichen derselben Substanz) noch eine weitere Fläche ausgebildet wäre, diese ebenfalls auf jeder der drei Kanten Stücke abschneiden würde, welche mit den andern dort von den sonstigen Flächen abgeschnittenen Stücken in rationalen Verhältnissen stünden. Es ist kein Grund vorhanden, warum irgend eine der durch dieses Verhalten charakterisirten Flächen nicht sollte an einem Krystall derselben Substanz vorkommen können, und in der That beobachtet man an neu aufgefundenen Krystallen der verschiedenen Substanzen tagtäglich neue Flächen, welche alle nach diesem Gesetz angeordnet und mit den anderen schon früher bekannt gewesenen Flächen verbunden sind, so dass man sagen kann: *An den Krystallen einer bestimmten Substanz können alle Flächen möglicher Weise vorkommen (sind alle Flächen möglich), deren Abschnitte auf drei beliebigen Kanten derselben in rationalen Verhältnissen zu einander stehen, die also dem Gesetz der rationalen Kantenschnitte folgen.*

Die Gesammtheit aller der unendlich vielen darnach an einem Krystall möglichen Flächen resp. die Gesammtheit aller von diesen Flächen begrenzten einfachen Krystallformen bildet die *Krystallreihe* der betreffenden Substanz. Sie ist implicite bekannt, wenn man nur 4 beliebige Flächen des letzteren kennt, welche so gegen einander liegen, wie die erstgenannten Flächen.

Für unmöglich müssen dagegen solche Flächen an einem Krystall gehalten werden, deren Abschnitte auf drei in einem Punkt sich schneidenden Kanten, mit den entsprechenden Abschnitten der andern Flächen nicht in rationalen Verhältnissen stehen; solche Flächen, welche jenem Gesetz nicht folgen, sind nie beobachtet worden.

25. Beispiel. An einem Krystall von Kieselzinkerz sind die in Fig. 21 dargestellten Flächen vorhanden, welche sich unter den für dieses Mineral charakteristischen Winkeln (20) schneiden. Wählt man unter diesen drei beliebige z. B. a, b, c aus, so schneiden sie sich, gehörig erweitert, in einem Punkt O, von dem die

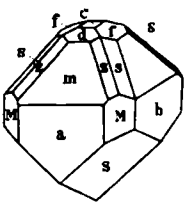

Fig. 21.

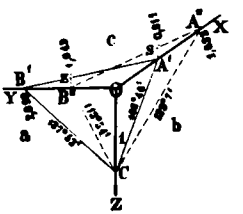

Fig. 22.

drei Kanten $b\,c = OX$, $c\,a = OY$ und $a\,b = OZ$ ausgehen, wie dies in Fig. 22 besonders gezeichnet ist. Eine Messung der drei Winkel $a\,b$, $b\,c$, $b'a$ ergiebt, dass sie alle $= 90^0$ sind. Wählt man nun unter den übrigen Flächen noch eine vierte z. B. z ganz beliebig aus, so schneidet diese die Kanten OX, OY, OZ in A', B', C, und die Winkelmessung ergiebt, dass: $\measuredangle\, z\,a = 137^0\,52'$ und $\measuredangle\, z\,b = 106^0\,46'$. Setzt man $OC' = 1$, so findet man aus den erwähnten Winkeln: $OA = 0{,}817$; $OB' = 2{,}099$. Nimmt man nun die Fläche s, so findet man für diese: $\measuredangle\, s\,a = 113^0\,54'$ und $\measuredangle\, s\,b = 129^0\,7'$; und wenn s ebenfalls durch C geht und OX und OY in A'' und B'' schneidet, so ist: $OA'' = 1{,}633$ und $OB'' = 1{,}049$. Die Verhältnisse der auf denselben Axen OX, resp. OY abgeschnittenen Stücke: $\frac{OA''}{OA'} = \frac{1{,}633}{0{,}817} = 2$ und: $\frac{OB'}{OB'} = \frac{1{,}049}{2{,}099} = \frac{1}{2}$ sind dann in der That rational, wie es das Gesetz der rationalen Kantenschnitte verlangt. In derselben Weise würde sich jede weitere Fläche des Krystalls verhalten, und zum gleichen Resultat würde man kommen, wenn man irgend drei andere Flächen statt a, b, c, und eine andere statt z gewählt hätte.

Eine Fläche, welche gegen a und b unter Winkeln $= 105^0\,53'$ und $148^0\,25'$ geneigt ist, würde, wenn auch sie durch den Punkt C ginge, auf OX und OY Stücke abschneiden: $OA''' = 1{,}633$ und $OB''' = 0{,}525$ und die Verhältnisse $\frac{OA'''}{OA'} = \frac{1{,}633}{0{,}817} = 2$ und $\frac{OB'''}{OB'} = \frac{0{,}525}{2{,}099} = \frac{1}{4}$ wären auch hier rational. Eine solche Fläche wäre also als eine mögliche Fläche des Kieselzinkerzes anzusehen, d. h. man könnte erwarten, dass eine unter den angegebenen Winkeln gegen a und b geneigte Fläche an irgend einem andern Kieselzinkerzkrystall, als dem vorliegenden, dem sie fehlt, vorkommt. In der That kennt man auch Krystalle dieses Minerals, an welchen sich eine Fläche mit solchen Neigungen gegen a und b findet. Wäre dies nicht der Fall, so wäre doch zu erwarten, dass man noch einmal einen Kieselzinkerzkrystall mit einer solchen Fläche fände.

Dagegen müsste man eine Fläche, welche gegen a und b unter 120^0 und 130^0 geneigt ist und also, durch C gehend, von OX und OY Stücke $= 1{,}161$ und $0{,}903$ abschneidet, am Kieselzinkerz für unmöglich halten, da die Verhältnisse: $\frac{1{,}161}{0{,}817} = 1{,}421\ldots$ und $\frac{0{,}903}{2{,}099} = 0{,}430\ldots$ irrational sind, und in der That ist auch eine Fläche mit solchen Neigungen gegen a und a noch nie beobachtet worden.

26. Axen. Parameter. Um eine leichte und bequeme Uebersicht über sämmtliche Flächen eines Krystalls zu erhalten, bezieht man dieselben in ganz ähnlicher Weise auf Axen, wie dies in der analytischen Geometrie geschieht. Man denkt sich durch einen beliebigen Punkt in Innern des Krystalls, den *Axenmittelpunkt O*, drei nicht in einer Ebene liegende Gerade OX, OY, OZ als Axen gezogen (Fig. 23). Jede Krystallfläche ist nun in ihrer Lage gegen das Axensystem bestimmt, wenn man das Verhältniss der drei Stücke kennt, welche dieselbe von den drei Axen abschneidet, und welche man die *Parameter* der Fläche nennt. Ist die Lage aller Flächen eines Krystalls gegen die Axen auf solche Weise durch ihre Parameter bestimmt, so ist damit die gegenseitige Anordnung und Neigung seiner Flächen und also die Gestalt desselben mathematisch gegeben.

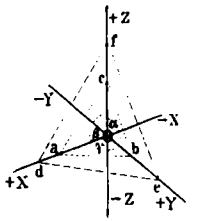

Fig. 23.

Zu diesem Zweck sind alle ganz beliebigen Richtungen für die Axen im Allgemeinen geeignet. Man wählt aber das Axensystem

stets so, dass jede der drei durch je zwei Axen bestimmten Axenebenen eine wirkliche oder mögliche (24) Fläche des betreffenden Krystalls ist. Die Flächen des Krystalls, mit denen man die Axenebenen parallel annimmt, heissen die *Fundamentalflächen* desselben. Dann sind die Axen der Richtung nach offenbar Kanten, wie z. B. die strichpunktirten der Linien (Axen) in Fig. 39 zeigen, und die durch die drei Axen und Axenebenen gebildeten acht Raumdreiecke entsprechen acht dreikantigen Ecken des Krystalls. Sind aber die Axen der Richtung nach Kanten des Krystalls, so gilt für sie alles das, was für Kanten überhaupt gilt, namentlich müssen die Abschnitte der Flächen des Krystalls auf den Axen, die Parameter derselben, in rationalen Verhältnissen zu einander stehen (23 und 23a). Ist also das Verhältniss der Parameter einer zu den drei Axenebenen hinzutretenden vierten Fläche (sog. *Einheitsfläche*) $= a : b : c$, so lässt sich das Parameterverhältniss $d : e : f$ jeder ferneren Fläche in dem Verhältniss $a : b : c$ ausdrücken, d. h. darstellen unter der Form: $d : e : f = ma : nb : pc$, wo m, n, p, die sog. *Ableitungszahlen* der letzteren Fläche rationale ganze Zahlen sind, während a, b, c und d, e, f für sich meist irrational sind und in irrationalen Verhältnissen zu einander stehen. Man kann, wenn man neben den drei Axen, resp. Axenebenen, auch die Einheitsfläche mit dem Parameterverhältniss: $a : b : c$ aus den Flächen des Krystalls beliebig, aber ein für allemal fest ausgewählt hat, jede weitere Fläche durch ihre Ableitungszahlen m, n, p unzweideutig angeben, mit denen man die Parameter a, b, c der Einheitsfläche multipliciren muss, um ihre Parameter ma, nb, pc zu erhalten. In dieser Weise, indem man die Parameter aller Flächen eines Krystalls mittelst der Ableitungszahlen in denen einer einzigen, der Einheitsfläche, ausdrückt, werden die Krystalle auf das zu Grunde gelegte, durch drei beliebige Kanten bestimmte Axensystem bezogen und die Möglichkeit, die Parameter jeder Fläche eines Krystalls in übersichtlicher und einfacher Weise durch einige ganze Zahlen (oder Brüche) auf die Parameter einer einzigen Fläche, der Einheitsfläche, zu beziehen, ist der Grund, warum man stets die Axen in der angegebenen Weise als Kanten des Krystalls wählt. Dabei sind aber die + und —Richtungen der Axen scharf zu unterscheiden und diejenigen Ableitungszahlen als — aufzufassen, welche sich auf die — Axenrichtungen beziehen.

Die Parameter einer Fläche, ma, nb, pc, kann man mit jeder beliebigen Zahl r multipliciren oder dividiren (22), diese Fläche ist somit auch gegeben durch das Parameterverhältniss: $r \cdot ma : r \cdot nb : r \cdot pc$. was sich auch schreiben lässt: $rm \cdot a : rn \cdot b : rp \cdot c$; d. h. man kann auch die Ableitungszahlen einer Fläche mit einer beliebigen Zahl r multipliciren (dividiren), ohne dass sich dabei in krystallographischem Sinne etwas ändert; auch durch die Multiplication der Ableitungszahlen mit r wird nur eine einfache Parallelverschiebung der Fläche algebraisch ausgedrückt.

Das Parameterverhältniss: $ma : nb : pc$ einer Fläche heisst der

Axenausdruck, oder kurz der *Ausdruck* oder das *Symbol* der Fläche; die Fläche ist durch denselben in ihrer Lage gegen die Axen und damit auch gegen die andern Flächen des Krystalls unzweideutig gegeben; $a : b : c$ das Parameterverhältniss der Einheitsfläche, auf welches man die Parameter aller andern Flächen mittelst der Ableitungszahlen bezieht, heisst das *Axenverhältniss*. Die Parameter a, b und c heissen die *Axenlängen* oder *Axeneinheiten*. Da es sich nur um das Verhältniss $a : b : c$, nicht um die absoluten Längen von a, b, c handelt, so kann man eine Axenlänge $= 1$ setzen, dann sind die beiden andern Axenlängen durch absolute Werthe in derselben Einheit ausgedrückt; man kann das Axenverhältniss darnach auch schreiben: $a : b : 1$ oder $a : 1 : c$ oder $1 : b : c$.

27. Rationale Axenschnitte. Das Gesetz der rationalen Kantenschnitte kann nun nach dem Angeführten auch das Gesetz der *rationalen Axenschnitte* (*Parameter*), oder das Gesetz der *rationalen Ableitungszahlen* genannt und so ausgesprochen werden: *Die Ableitungszahlen aller Flächen eines Krystalls sind rational*, aber nur unter der Voraussetzung, dass die Axen parallel mit wirklichen oder möglichen Kanten des Krystalls sind, und dass die Axenlängen auf diesen durch eine Krystallfläche abgeschnittene Stücke sind. Man kann ferner sagen: *An einem Krystall sind alle solche Flächen möglich, welche von derartigen Axen Stücke mit rationalen Ableitungszahlen abschneiden, während Flächen mit irrationalen Ableitungszahlen unmöglich sind.*

Die Neigung und die Länge der Axen, sowie die Ableitungszahlen, welche an diesen Axen die einzelnen Flächen eines Krystalls bestimmen, haben stets andere Werthe, je nachdem man diese oder andere Flächen desselben als Einheits- und Fundamentalflächen wählt. Durch eine geschickte Wahl dieser letzteren kann man bewirken, dass die Ableitungszahlen der Flächen sehr kleine Zahlen sind, 1, 2, 3, selten mehr, abgesehen von ∞; man spricht daher auch von dem *Gesetz der einfachen rationalen Ableitungszahlen.*

28. Specielle Flächenausdrücke. Ist eine oder zwei Ableitungszahlen $= \infty$, so geht die Fläche der resp. den betreffenden Axen parallel. Flächen, welche einer Axe parallel sind, bei denen also eine Ableitungszahl $= \infty$, heissen *Dodekaidflächen;* solche, welchen zwei Axen parallel sind, wo also zwei Ableitungszahlen $= \infty$, heissen *Hexaidflächen;* es sind dies offenbar die drei Fundamentalflächen; endlich heissen solche Krystallflächen, welche alle drei Axen schneiden, *Oktaidflächen;* zu ihnen gehört vor allem die Einheitsfläche, welche von den drei Axen die Axeneinheiten a, b und c abschneidet.

Beispiele specieller Flächenausdrücke sind:

Oktaidflächen: $2a : b : c$; $a : \frac{2}{3} b : -2c$ und vor allen die Einheitsfläche $a : b : c$.

Dodekaidflächen: $2a : \infty b : 3c$; $- a : b : \infty c$ etc.

Hexaidflächen: $\infty a : \infty b : c$; $\infty a : b : \infty c$; $a : \infty b : \infty c$.

29. Parallele Gegenflächen. Eine Fläche schneidet auf der einen Seite des Axenmittelpunkts von den Axen Stücke ab, welche in demselben Verhältniss stehen, wie die von der parallelen Gegenfläche auf der andern Seite des Axenmittelpunkts

abgeschnittenen Stücke (Fig. 24), aber die von der einen Fläche auf der einen Seite abgeschnittenen Stücke sind negativ in Beziehung auf die von der Parallelfläche auf der andern Seite abgeschnittenen. Man erhält also den Ausdruck der Gegenfläche zu einer Krystallfläche $ma : nb : pc$, wenn man deren Ableitungszahlen mit — 1 multiplicirt. Die Gegenfläche ist also: $— ma : — nb : — pc$, also z. B. $— a : — b : — c$ die Gegenfläche zu $a : b : c$; $2a : — b : — c$ zu $— 2a : b : c$ etc.

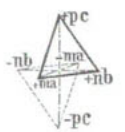

Fig. 24.

30. Axensystem. Ein Axensystem ist bekannt, wenn man die Winkel α, β, γ, welche die Axen b nnd c, c und a sowie a und b mit einander machen, und das Axenverhältniss : $a : b : c$ kennt. Da nach (26) statt $a : b : c$ auch z. B. $a : b : 1$ gesetzt werden kann, wo dann a und b auf die zu Grunde gelegte Einheit bezogene absolute Grössen sind, so ist das Axensystem durch die 5 von einander völlig unabhängigen Stücke: α, β, γ; a, b, die sog. *Elemente* des Axensystems (Axenelemente), vollständig gegeben. Zu deren Bestimmung müssen im allgemeinsten Fall 5 ebenfalls von einander völlig unabhängige Winkel an dem betr. Krystall gemessen werden, aus welchen man dann jene 5 Stücke berechnen kann, wenn die Axenausdrücke aller Flächen bekannt sind.

Wie die Neigungswinkel der Flächen für alle Krystalle derselben Substanz charakteristisch sind (20), so sind es demnach auch die Elemente der den Krystallen untergelegten Axensysteme, welche nur von jenen Winkeln abhängen und aus ihnen berechnet werden; und wie nur bei Krystallen einer bestimmten Substanz gewisse Flächenwinkel vorkommen, so auch nur gewisse Axenwinkel und Axenverhältnisse, während andere unmöglich sind. Allerdings sind an einem und demselben Krystall viele Axensysteme möglich, da je vier mögliche und in der oben angegebenen Weise gegen einander liegende Flächen desselben ein solches liefern. Aber alle diese Axensysteme sind auf einander zurückführbar und können aus einander berechnet werden, denn alle die in Frage kommenden Flächen stehen ja nach dem Gesetz der rationalen Kantenschnitte in einer bestimmten, mathematisch ausdrückbaren Beziehung zu einander. Die Axensysteme von Krystallen verschiedener Substanzen lassen dagegen keinerlei gesetzmässigen Zusammenhang erkennen und können daher auch nicht aus einander berechnet und in einander übergeführt werden, ebensowenig wie man einen gesetzmässigen Zusammenhang zwischen der Anordnung der Flächen bei Krystallen verschiedener Substanzen erkennen kann.

Die Ausdrücke aller an einem Axensystem möglichen Flächen, also die Krystallreihe des betreffenden Krystalls (24), erhält man, wenn man für die Ableitungszahlen m, n, p der Reihe nach alle möglichen rationalen Werthe in den allgemeinen Ausdruck: $ma : nb : pc$ setzt. Alle die verschiedenen an einem Krystall oder an allen Krystallen derselben Substanz möglichen Axensysteme, die sich durch ihre Axenwinkel und Axenverhältnisse von einander unterscheiden, geben dadurch infolge des erwähnten gesetzmässigen Zusammenhangs stets dieselbe Gruppe von Flächen, dieselbe Krystallreihe, indem sich die Flächen jedesmal unter denselben Winkeln schneiden. Dagegen erhält man aus Axensystemen, welche von Krystallen verschiedener Substanzen abgeleitet sind, stets andere Krystallreihen mit anderen Flächenneigungen, und zwar mit denjenigen, welche für die betr. Substanz charakteristisch sind (20). Durch die Axensysteme resp. durch die Elemente derselben sind somit die Krystalle in ihren wesentlichen Gestaltungsverhältnissen gegeben. Die Axen geben gewissermassen ein übersichtliches Bild der Krystallisation der verschiedenen Substanzen, welche sich auch durch ihre Axenelemente in krystallographischer Beziehung charakterisiren und von einander unterscheiden lassen, ebenso wie durch die Flächenwinkel, aber weitaus einfacher und übersichtlicher, als durch diese.

31. Flächenausdruck. Der Flächenausdruck: $ma : nb : pc$ ist zuerst von *Chr. S. Weiss*, der die Axen in die Krystallographie ein-

geführt hat, in dieser Form geschrieben worden. Diese Form der Axenausdrücke der Krystallflächen heisst darnach die *Weiss'sche Bezeichnungsweise*, bei der m, n, p Ableitungszahlen sind, welche meist als ganze, seltener gebrochene, + oder — Zahlen angegeben werden. Da man die Ableitungszahlen m, n, p einer Fläche mit einer beliebigen Zahl multipliciren oder dividiren kann (26), so kann man jeden Flächenausdruck mit gebrochenen Ableitungszahlen in einen solchen mit lauter ganzen verwandeln; so ist z. B. $\frac{3}{2}a : b : \frac{3}{4}c = 6a : 4b : 3c$. Man kann aber auch umgekehrt jeden Ausdruck so umwandeln, dass die Ableitungszahlen ächte Brüche mit dem Zähler 1 werden. Hat man z. B. den Ausdruck: $ma : nb : pc$, wo m, n, p ganze Zahlen sind, so kann man die drei Parameter mit mnp dividiren und erhält: $\frac{ma}{mnp} : \frac{nb}{mnp} : \frac{pc}{mnp} = \frac{a}{np} : \frac{b}{mp} : \frac{c}{mn} = \frac{a}{h} : \frac{b}{k} : \frac{c}{l}$, wenn man $np = h$ etc. setzt, wobei nothwendig h, k, l ebenfalls ganze Zahlen sein müssen. Solche ganze Zahlen, mit welchen die Axenlängen in den Flächenausdrücken *dividirt* werden, heissen die *Indices* der Flächen. Eine Fläche ist an einem gegebenen Axensystem durch das Verhältniss ihrer Indices $h : k : l$ unzweideutig bestimmt, wie durch das Verhältniss der Ableitungszahlen: $m : n : p$.

Miller bezeichnet die Krystallflächen mittelst der Indices, er lässt aber der Kürze wegen die Axenlängen weg und schreibt nur die Indices, und zwar stets in der Reihenfolge, in welcher sie sich auf die drei Axen a, b, c beziehen, indem er über negative (sich auf negative Axenzweige beziehende) Indices — setzt. So ist also $\frac{a}{h} : \frac{b}{k} : \frac{c}{l}$ nach Miller $= hkl$ oder speciell: $\frac{a}{2} : \frac{b}{3} : c = 231$; $\frac{-a}{3} : b : c = \bar{3}11$ etc. Dem Maximalwerth ∞ bei den Ableitungszahlen entspricht hier ein Minimalwerth 0, so dass also:

die Dodekaidflächen: $a : \infty b : c = 101$; $\frac{a}{2} : -b : \infty c = 2\bar{1}0$ etc.

die Hexaidflächen: $a : \infty b : \infty c = 100$; $\infty a : b : \infty c = 010$ etc.

Diese Bezeichnungsweise der Krystallflächen mit blossen Indices, die sog. *Miller'sche* Bezeichnungsweise, soll in diesem Buch vorzugsweise angewendet werden, daneben die *Naumann'sche*, welche bei Betrachtung der einzelnen Krystallsysteme näher erläutert werden wird.

32. Beispiel. In dem oben (25) erwähnten Kieselzinkerzkrystall seien a, b, c als Fundamentalflächen beliebig gewählt, so dass die drei Axen (wie auch die Axenebenen) sich unter 90° schneiden. Wählt man dann noch beliebig eine vierte Fläche als Einheitsfläche, z. B. z, so ist für diese Annahme das Axensystem des Kieselzinkerzes bekannt. Die 3 Axenwinkel sind $= 90°$ und das Axenverhältniss: $a : b : c = 0{,}817 : 2{,}099 : 1$. Der Ausdruck der Einheitsfläche z ist: $z = a : b : c = 111$; derjenige einer weiteren Fläche s an diesem Axensystem wird dann: $s = 2a : \frac{1}{2}b : c = 4a : b : 2c = a : \frac{b}{4} : \frac{c}{2} = 142$ und diejenige der Fläche $A'''B'''C''' = 2a : \frac{1}{4}b : c = 8a : b : 4c = a : \frac{b}{8} : \frac{c}{2} = 182$. Hätte man dagegen s als Einheitsfläche genommen, so wäre das Axenverhältniss für diesen Fall: $a : b : c = 1{,}633 : 1{,}049 : 1$. Jetzt hätte nicht mehr z, sondern s den Ausdruck:

$a:b:c=111$, der sich nun aber auf das neue Axensystem bezieht, dagegen hätte z in Beziehung auf dieses neue Axensystem den Ausdruck: $\frac{1}{2}a:2b:c=a:4b:2c=\frac{a}{4}:b:\frac{c}{2}=412$ und $A'''B'''C'''$ wäre jetzt: $a:\frac{1}{2}b:c=2a:b:2c=121$. Ein ferneres Axenverhältniss würde die letztere Fläche geben, und ebenso jede andere, welche nicht einer Axe parallel ist, und ebenso könnte man auch stets andere Flächen zu Fundamentalflächen nehmen. Dass diese verschiedenen Axensysteme wirklich in einer gesetzmässigen Beziehung stehen und sich aus einander ableiten lassen, sieht man hier leicht, denn es ist: $a_z:a_s=0{,}817:1{,}633=1:2$, d. h. $a_z=\frac{1}{2}a_s$; ferner $b_z:b_s=2{,}099:1{,}049=2:1$, d. h. $b_z=2b_s$, c ist in allen Fällen $=1$. Complicirter und nur durch weitläufigere Rechnung nachzuweisen ist der Zusammenhang derjenigen Axensysteme desselben Krystalls, bei welchen auch die Fundamentalflächen andere sind.

Im Vorstehenden sind die allgemeinen Beziehungen der Axen aller Krystalle ohne Ausnahme auseinander gesetzt. Je nach den speciellen Verhältnissen (Symmetrieverhältnissen) der Krystalle wählt man aber die als Axen zu benutzenden Kanten etc. in verschiedenen Fällen verschieden (49 ff.).

c. Das Zonengesetz.

(Vergl. F. E. Neumann. De lege zonarum. Diss. Berlin 1826.)

33. Zone. Unter *Zone* versteht man einen Complex von Flächen, welche alle einer Geraden (Kante), der sog. *Zonenaxe,* parallel sind, und welche sich somit alle, eventuell in der Erweiterung, in Kanten schneiden, welche einander und der Zonenaxe parallel sind. Flächen, die in einer Zone liegen, heissen *tautozonal;* so sind alle Flächen jedes Prismas, z. B. die Flächen p (Fig. 8), tautozonal. Schon durch je zwei Flächen einer Zone ist stets die Richtung der Zonenaxe und damit im Wesentlichen die Zone selbst bestimmt. Liegt eine Fläche in einer Zone, so liegt die parallele Gegenfläche selbstverständlich ebenfalls darin.

Ist ein Krystall so auf einem Reflexionsgoniometer befestigt, dass die Axe einer Zone in die Drehaxe fällt, so müssen die Reflexe eines Lichtpunkts auf allen Flächen der Zone der Reihe nach auf dem gleichen Wege durch das Sehfeld wandern, wenn man den Krystall um 360° dreht, und zwar müssen sie sich in einer auf der Axe senkrechten Ebene bewegen. Ist das Goniometer mit einem Fernrohr versehen, so gehen die Reflexe der Reihe nach durch dessen Fadenkreuz. Daran kann man erkennen, ob eine Anzahl von Flächen in einer Zone liegen oder nicht, und zwar ist diese Probe sehr scharf und besonders dann von Werth, wenn sich die Flächen entweder gar nicht oder nur in sehr kurzen Kanten schneiden.

34. Ausdruck der Zone. Sind an dem Axensystem $OXYZ$ (Fig. 25) die beiden Flächen $ABC=\frac{a}{h}:\frac{b}{k}:\frac{c}{l}=hkl$ und $DEF=\frac{a}{h'}:\frac{b}{k'}:\frac{c}{l'}=h'k'l'$ gegeben, so ist deren Durchschnitt GH die Axe der durch die beiden Flächen bestimmten Zone. Denkt man sich die Zonenaxe GH parallel mit sich durch den Axenmittelpunkt O nach OK verlegt und das Parallelepiped $OMLNPQRS$ construirt, dessen Flächen den drei Axenebenen XOY, YOZ, ZOX parallel sind und

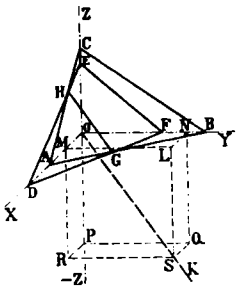

Fig. 25.

dessen Diagonale OS ist, wo S ein ganz beliebiger Punkt der Geraden OK, dann sind OM, ON, OP die Coordinaten von S. Kennt man diese, so kennt man auch die Zonenaxe SO ihrer Richtung nach, da diese ja ausser durch S auch durch den Axenmittelpunkt O gehen soll. Die Kenntniss des Punkts S resp. dessen Coordinaten genügt also, um die Zone der Richtung nach völlig zu bestimmen, ja schon das Verhältniss der Coordinaten $OM : ON : OP$ ist genügend, da jeder beliebige Punkt der Zonenaxe OK die Richtung derselben angiebt. Man findet nun mittelst einiger ähnlicher Dreiecke:

$$OM : ON : OP = (kl, -k,l)\,a : (lh, -l,h)\,b : (hk, -h,k)\,c$$
$$= ua : vb : wc.$$

Diese Zahlen $u = kl, -k,l$ etc., welche hier als Coëfficienten der Axenlängen a, b, c auftreten und welche in Verbindung mit diesen die Richtung der Zonenaxe bestimmen, heissen die *Indices* der Zone; in eine eckige Klammer gefasst: $[uvw]$ geben sie den *Ausdruck* (das Symbol) der Zone. Als Differenzen von Producten rationaler (ganzer) Zahlen sind auch u, v, w stets rational (ganz). Jeder durch drei rationale (ganze) Werthe von u, v, w dargestellte Ausdruck giebt eine an dem Krystall mögliche Zone oder Kantenrichtung. Zonen (Kantenrichtungen), deren Indices irrational sind, können an einem Krystall nicht vorkommen.

u, v, w lassen sich stets leicht nach einem Schema ermitteln:

$$\begin{array}{cccccc} & & u & v & w & \\ h & k & l & h & k & l \\ & & \times & \times & \times & \\ h, & k, & l, & h, & k, & l, \end{array}$$

Schreibt man die Indices der beiden Flächen doppelt neben und über einander, multiplicirt die durch nach rechts unten gehende Linien verbundenen Indices und ebenso die durch nach links unten gehende Linien verbundenen Indices und zieht die im zweiten Fall erhaltenen Producte von den im ersten Fall erhaltenen ab, so dass immer die Producte von zwei sich schneidenden Linien von einander abgezogen werden, dann ist die erste Differenz, über welcher im Schema u steht, der Index u für die Axe a, die zweite und dritte unter v und w sind die Indices v und w für b und c. Dabei müssen die Vorzeichen der Indices streng beobachtet werden. Die Zonenindices selbst können wie die der Flächen alle mit einer und derselben Zahl multiplicirt oder dividirt werden.

Beispiel. Gegeben die beiden Flächen:

$ABC = 212$; $DEF = 1\bar{1}1$, dann ist: $[uvw] = [30\bar{3}] = [\bar{1}01] = [101]$;
denn die Formeln für die Zonenindices geben nach dem Schema:

$$\begin{array}{cccccc} & & u & v & w & \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ & & \times & \times & \times & \\ 1 & \bar{1} & 1 & 1 & \bar{1} & 1 \end{array}$$

$u = 1 \cdot 1 - 2 \cdot (-1) = 3$; $v = 2 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 0$; $w = 2 \cdot (-1) - 1 \cdot 1 = -3$.

35. Zonengleichung. Hat eine Fläche den Ausdruck *hkl* und eine Zone den Ausdruck $[uvw]$, so gilt, wenn die Fläche in dieser Zone liegt, die sog. Zonengleichung:

$$uh + vk + wl = 0.$$

Ist z. B. die Zone [121] gegeben, so liegt in ihr nach dieser Gleichung offenbar die Fläche: $1\bar{1}1$, denn es ist: $u = 1$, $v = 2$, $w = 1$ und $h = -1$, $k = 1$, $l = -1$, also: $1 \cdot (-1) + 2 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) = -1 + 2 - 1 = 0$.

Dagegen liegt in dieser Zone nicht die Fläche: $10\bar{3}$, denn es ist:

$$1 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot (-3) = 1 - 3 = -2, \text{ also nicht} = 0.$$

Diese Fläche liegt dagegen z. B. in der Zone: $[3\bar{1}1]$, denn es ist:

$$1 \cdot 3 + 0 \cdot (-1) + (-3) \cdot 1 = 0.$$

36. Fläche in zwei Zonen. Eine Fläche eines Krystalls liegt im allgemeinen nicht nur in einer Zone, sondern in mehreren, in zwei, drei etc. gleichzeitig. Dies ist der Fall, wenn sie gleichzeitig den Axen aller dieser Zonen parallel ist. So ist z. B. in Fig. 26 die Fläche *c* gleichzeitig in den drei Zonen: $[a'a_{,}]$, $[a''a_{,,}]$, $[a'''a_{,,,}]$, wie man an der Parallelität der Kanten c/a', $a'/a_{,,}$ $a_{,}/c$; c/a'', $a''/a_{,,,}$ a''/c; c/a''', $a'''/a_{,,,,}$ $a_{,,,}/c$ sieht.

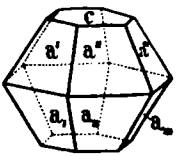

Fig. 26.

Da nun jede Ebene durch zwei Gerade, denen sie parallel geht, der Richtung nach völlig bestimmt ist, so ist auch eine Krystallfläche durch zwei Zonen, in denen sie liegt, völlig bestimmt, denn: eine Fläche liegt in zwei Zonen heisst ja nichts Anderes, als sie geht gleichzeitig den Axen beider Zonen parallel.

Liegt die Fläche gleichzeitig noch in einer dritten Zone, so muss diese zu den beiden ersteren in bestimmten mathematisch ausdrückbaren Beziehungen stehen.

Sind die beiden Zonen, in welchen eine Fläche *hkl* liegt, durch ihre Ausdrücke $[uvw]$ und $[u,v,w,]$ gegeben, so ist nach (35):

$$hu + kv + lw = 0 \text{ und } hu, + kv, + lw, = 0,$$

und daraus folgt h, k, l ausgedrückt in u, v, w und $u,, v,, w,$.

Die Werthe für h, k, l lassen sich aber nach demselben Schema unmittelbar ablesen wie: u, v, w in (34):

$$\begin{array}{cccccc} h & k & l & & & \\ u & v & w & u & v & w \\ & \times & \times & \times & & \\ u, & v, & w, & u, & v, & w, \end{array}$$

woraus man erhält:

$$h = vw, - v,w; \quad k = wu, - w,u; \quad l = uv, - u,v.$$

Da u, v, w und $u,, v,, w,$ rational (ganz) sind, so müssen auch stets die daraus folgenden Werthe h, k, l wieder rational (ganz) sein. Jede in zwei Zonen liegende Fläche ist also eine mögliche Krystallfläche.

Sind z. B. gegeben die Zonen: [211] und $[10\bar{2}]$, dann ist für die Indices *hkl* der in beiden liegenden Fläche:

$h = 1.(-2) - 1.0 = -2$; $k = 1.1 - (-2).2 = 5$; $l = 2.0 - 1.1 = -1$, also: $hkl = 2\bar{5}\bar{1} = \frac{-a}{2} : \frac{b}{5} : -c$ oder $2\bar{5}1 = \frac{a}{2} : \frac{-b}{5} : c$ (29.) die durch jene zwei Zonen bestimmte Fläche.

37. Deduction. Sind vier Flächen eines Krystalls *A*, *B*, *C*, *D* durch ihre Ausdrücke an einem Axensystem bekannt, so ist es möglich, eine fünfte Fläche x abzuleiten, welche gleichzeitig in den Zonen von je zweien derselben liegt (34—36).

Ist z. B. $A = 302$; $B = 111$; $C = 101$; $D = 3\bar{1}3$, und soll $x = hkl$ in den beiden Zonen $[A,B]$ und $[C,D]$ liegen, so ist:

$$[A.B] = [uvw] = [\bar{2}1\bar{3}]; \quad [C.D] = [u,v,w,] = [10\bar{1}] \text{ und hieraus:}$$
$$x = hkl = (uvw, u,v,w,) = \bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1} \text{ oder } = 111.$$

Diese Flächen *A*, *B*, *C*, *D* müssen aber, wenn dies möglich sein soll, eine ganz bestimmte allgemeine gegenseitige Lage haben. Sie dürfen nicht alle vier in einer Zone liegen, auch nicht drei in einer Zone und nur die vierte ausserhalb derselben, sondern es müssen immer nur je zwei in einer Zone liegen und dies thun sie, wenn sie mit ihren vier parallelen Gegenflächen liegen wie die Flächen eines Oktaëders (Fig. 3), wobei aber die Winkel der Oktaëderflächen gegen einander gleichgültig sind. Dann aber bestimmen solche vier Flächen nicht blos 2, sondern 6 verschiedene Zonen $[A, B]$, $[A,C]$, $[A,D]$, $[B,C]$, $[B,D]$, $[C,D]$, aus welchen nicht blos eine, sondern drei neue Flächen *x* abgeleitet werden können. Diese drei Flächen *x* geben wieder drei neue Zonen, welche mit den ursprünglichen sechs Zonen $[A, B]$ etc. wieder neue Flächen liefern, und so kann man durch allmähliges Fortschreiten in dieser Weise aus jenen vier ersten Flächen unendlich viele neue ableiten, welche alle mit einander im Zonenzusammenhang stehen. Man nennt diese Operation die *Deduction*. Die Ausdrücke der deducirten Flächen für das Axensystem, auf welches die Flächen *A* bis *D* bezogen sind, folgen durch fortgesetzte Anwendung der Formeln in (34) bis (36) aus den Ausdrücken der vier ersten Flächen. Die Ableitungszahlen (Indices) derselben sind daher nothwendig rationale, und die Flächen sind also mögliche Krystallflächen. Die unendlich vielen deducirten Flächen mit ihren rationalen Indices können in ihrer Gesammtheit darnach nicht verschieden sein von den unendlich vielen Flächen, deren Ausdrücke man erhält, wenn man direct die Axenlängen jenes Axensystems mit allen möglichen rationalen Zahlen als Indices combinirt. Man erhält somit genau denselben Flächencomplex, wenn man, entsprechend dem Gesetz der rationalen Kanten- oder Axenschnitte, an ein Axensystem unendlich viele Flächen mit rationalen Indices legt, oder wenn man aus vier beliebigen Flächen dieses Complexes, welche die oben angegebene allgemeine Lage gegen einander haben, durch Deduction aus dem Zonenzusammenhang alle ferneren möglichen Flächen ableitet; auf beiden Wegen erhält man die Krystallreihe der betr. Substanz und als Indices die Reihe der rationalen Zahlen. Leicht sieht man ein, dass die vier Flächen, welche man der Deduction zu Grunde legen muss, dieselbe allgemeine Lage gegen einander haben, wie die vier

Flächen, welche die Axenelemente geben (26); durch vier solche Flächen ist also mittelst beider Methoden die Gesammtheit der möglichen Flächen des betr. Krystalls gegeben.

38. **Zonengesetz.** Man kann darnach die erfahrungsmässig festgestellte, durch die Neigungswinkel charakterisirte Gruppirung der Flächen eines Krystalls aus solchen vier Flächen nicht nur angeben in mehr algebraischer Weise durch das Gesetz der rationalen Axenschnitte, sondern ganz ebenso gut in mehr geometrischer Weise, jedoch mit dem vorigen vollkommen gleichbedeutend, durch Deduction mit Hülfe des sog. *Zonengesetzes*, wie es zuerst von *Chr. S. Weiss und E. F. Neumann* ausgesprochen wurde. Dasselbe lautet: *Alle Flächen eines Krystalls stehen untereinander im Zonenzusammenhang*, d. h. man kann stets je vier Flächen aus den sämmtlichen an einem Krystall möglichen beliebig herausgreifen und alle andern aus ihnen deduciren, wenn jene vier nur die Lage gegen einander haben, wie in (37) angegeben. Welche so gestaltete Gruppe von vier Flächen man aus den Flächen eines Krystalls herausgreifen mag, stets erhält man ganz genau dieselbe Gruppirung der deducirten Flächen, d. h. dieselbe Krystallreihe, ebenso wie man auch stets dieselbe Krystallreihe bekommt, gleichgültig welche von den Flächen eines Krystalls man als Fundamentalflächen und als Einheitsfläche zur Bestimmung eines Axensystems wählt (30).

Der vollkommen ununterbrochene Zonenzusammenhang besteht aber mit Nothwendigkeit nur für die Gesammtheit aller der unendlich vielen möglichen Flächen eines Krystalls. An den factisch vorkommenden Krystallen ist aber nur eine beschränkte Zahl dieser Flächen ausgebildet. Die Folge davon ist, dass man an ihnen keinen vollkommen ununterbrochenen Zonenzusammenhang mehr beobachtet, d. h. dass man nicht mehr aus vier ganz beliebigen Flächen, welche nur die oben angegebene allgemeine Lage gegen einander haben, alle andern mittelst der Zonen deduciren kann. Häufig kann man auch an den Krystallen, wie sie die Natur bildet, alle Flächen aus solchen vier Flächen deduciren, denn auch die factisch ausgebildeten Flächen der Krystalle sind der Regel nach in Zonen geordnet, aber man kann dies nur aus vier ganz bestimmten Flächen oder auch aus mehreren Gruppen von solchen vier Flächen, die Zahl dieser Gruppen ist jedoch stets eine endlich begrenzte. Häufig giebt es aber überhaupt keine solche Gruppe von vier Flächen, aus denen sich alle andern thatsächlich vorhandenen Flächen des betr. Krystalls deduciren liessen; entweder lässt sich nur eine Anzahl dieser Flächen aus den Zonen bestimmen, oder aber auch wohl in seltenen Fällen gar keine. Ist der Zonenzusammenhang ununterbrochen, so folgen die Ausdrücke aller deducirten Flächen aus denen der vier zu Grunde gelegten Flächen nach den Formeln in (34) und (36) bezogen auf dasselbe Axensystem, wie jene vier. Zur Bestimmung der Ausdrücke von Flächen, die ausser dem Zonenverband liegen, ist das Messen von Flächenwinkeln und Berechnung nach den Methoden der rechnenden Krystallographie nöthig.

39. Beispiele. Hat man z. B. den Krystall Fig. 27, so lassen sich daran durch parallele Kanten ohne weiteres die Zonen: $[d_2h_1d_3h_2]$, $[h_3d_1h_1d_4]$, $[h_3d_5h_2d_6]$, $[h_2o_1d_2o_4]$, $[d_5o_1h_1o_3]$, $[h_2o_1d_1o_3]$, $[o_3h_1o_4d_6]$, $[h_2o_4d_4o_3]$ etc. je mit den nach hinten liegenden parallelen Gegenflächen erkennen und die genauere Untersuchung am Goniometer (33) würde noch weitere Zonen leicht ergeben, so namentlich: $[d_3d_1d_5]$, $[d_4d_3d_5]$, $[d_2d_4d_6]$, $[d_1d_4d_6]$ etc. Aber auch schon diese unmittelbar erkennbaren Zonen zeigen, dass jede Fläche des Krystalls mindestens in 2 Zonen liegt, so h_1 in $[d_5o_1h_1o_3]$ und $[o_3h_1o_4d_6]$; h_2 in $[h_2o_4d_4o_3]$ und $[h_2o_1d_1o_3]$ etc., und dass somit jede Fläche durch Zonen anderer Flächen bestimmt ist. Ferner sieht man, dass man aus den vier Flächen o, welche offenbar die erforderliche allgemeine Lage zu einander haben, alle andern Flächen deduciren kann. Zunächst ist h_1 bestimmt durch die Zone $[o_1o_3]$ und $[o_2o_4]$; h_2 durch $[o_1o_2]$ und $[o_3o_4]$; h_3 durch $[o_2o_3]$ und $[o_1o_4]$; ferner die Flächen d durch eine Zone $[oo]$ und $[hh]$, also z. B. d_1 durch $[o_1o_3]$ und $[h_1h_3]$; d_2 durch $[o_2o_3]$ und $[h_1h_2]$; d_3 durch $[o_1o_4]$ und $[h_1h_2]$ etc.

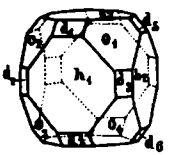
Fig. 27.

Für die Flächen o, welche der Deduction zu Grunde liegen, kann man beliebige Indices wählen, wenn nicht aus irgend welchen Gründen der Symmetrie etc. solche von vornherein gegeben oder indicirt sind. Jeder solchen Wahl entspricht dann implicite ein ganz bestimmtes Axensystem für den Krystall, das für jede andere vier Ausdrücke für jene Flächen o ein anderes ist. Die Ausdrücke (Indices) der Flächen o müssen nur so beschaffen sein, dass nach ihnen nicht z. B. drei der vier Flächen in einer Zone liegen etc., was mittelst der Zonengleichung (35) geprüft wird. Nimmt man z. B. an, dass: $o_1 = 111$, $o_2 = 1\bar{1}1$, $o_3 = 1\bar{1}\bar{1}$, $o_4 = 11\bar{1}$, so findet man, nach (34—36) aus den angegebenen Zonen: $h_1 = 100$. $h_2 = 010$ und $h_3 = 001$; ferner: $d_1 = 101$; $d_2 = 1\bar{1}0$; $d_3 = 110$ etc., welche Ausdrücke sich stets auf dasselbe Axensystem beziehen, das auch den Ausdrücken der Flächen o zu Grunde liegt. Eine ähnliche Deduction wäre noch aus den vier Flächen $d_1\,d_2\,d_3\,d_4$, $d_2\,d_3\,d_5\,d_6$ etc. möglich, nicht aber aus $d_1h_1o_1d_3$ etc., welche die erforderliche allgemeine gegenseitige Lage auch haben.

Ein Flächencomplex, wie der, welcher den Axinitkrystall Fig. 28 umgrenzt, gestattet überhaupt keine ununterbrochene Deduction. Von den vier Flächen P, l, u, s kann man nicht ausgehen, da P, l, u in einer Zone liegen, dagegen ist P, r, u, x geeignet. Diese 4 Flächen geben die Fläche s aus den beiden Zonen $[r,u]$ und $[P,x]$, und zwar ist, wenn man: $P = 1\bar{1}0$; $u = 110$; $r = 11\bar{1}$; $x = 111$ annimmt, $s = 201$. Wenn man dagegen die Ausdrücke annimmt: $P = 001$; $u = 111$; $r = 1\bar{1}1$; $x = 201$ so wird $s = 101$. Dagegen lässt sich der Ausdruck für l nicht aus dem Zonenverband ermitteln, denn für l ist nur die Zone $[P,u]$ bekannt. Um den Ausdruck von l zu bestimmen, muss man noch einen Winkel messen, den l mit einer andern Fläche macht, also $\measuredangle\, l\,P$ oder $\measuredangle\, l\,s$ etc. Läge eine Fläche in gar keiner Zone bekannter Flächen, so müsste man zwei Winkel messen und die Bestimmung des Ausdrucks nach den hier nicht zu erläuternden Methoden der rechnenden Krystallographie ausführen.

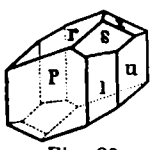

Fig. 28.

40. Praktischer Werth der Zonen. Die Kenntniss des Zonenzusammenhangs der an einem Krystall vorhandenen Flächen ist für die praktische Untersuchung und Beschreibung von Krystallen von grosser Wichtigkeit, da man, wie schon oben erwähnt, wenn alle Flächen im ununterbrochenen Zonenverbande stehen, die Ausdrücke derselben ohne alle Winkelmessung nach den Formeln in (34—36) sehr bequem aus denen von vier zweckmässig gelegenen Flächen bestimmen kann. Bei der Untersuchung eines Krystalls wird man also zweckmässig vor Allem die Zonen ermitteln, sei es durch Beobachtung paralleler Kanten oder auf dem Goniometer. Man braucht dann schliesslich, wenn alle Flächen im Zonenzusammenhang stehen, nur so viele Winkel zu messen, als nöthig sind, um das Axensystem zu berechnen, und das sind im Maximum fünf. Alle andern Winkel lassen sich dann mittelst der Axen und der aus den Zonen ermittelten Flächenausdrücke berechnen. Würde man keine Zone kennen, so müsste man wieder von

vier beliebig, aber nach den obigen Principien gelegenen Flächen ausgehen, man könnte diesen nun wieder, beliebige Ausdrücke beilegen, müsste aber dann für jede weitere zu bestimmende Fläche zwei Winkel messen, die sie mit anderen Flächen des Krystalls macht. Dies wäre eine sehr mühevolle und zeitraubende Arbeit, welche ausserdem vielfach unsichere Resultate geben würde. In vielen praktischen Fällen wird sich zwar der Zonenzusammenhang der Flächen eines Krystalls nicht vollkommen ununterbrochen darstellen lassen und die Unterbrechungen müssen durch Winkelmessungen ausgefüllt werden, aber die Zahl der dazu nöthigen Winkel ist doch immer gering. So kann man also meist mittelst weniger gemessener Winkel aus dem Zonenverbande die Ausdrücke aller Flächen eines Krystalls, sowie alle anderen Flächenwinkel desselben berechnen, im concreten Fall misst man aber der Controle wegen immer eine grössere Zahl von Flächenwinkeln, als zur Rechnung unmittelbar nöthig ist.

d. Die Symmetrieverhältnisse.

41. Symmetrieebene. Zwei Flächen *s* des Augitkrystalls (Fig. 29) liegen symmetrisch zu einer Ebene, welche man sich durch den Krystall gelegt denken kann (diese Ebene ist hier durch die Kante *s*/*s* und die dünn gezeichneten Linien auf der Fläche *r* dargestellt), wenn beide einander gleich sind, wenn die Ebene mit ihnen in einer Zone liegt (durch die Kante *s*/*s* geht) und ihren Winkel *s*/*s* halbirt. Die Flächen *m* liegen aus ähnlichem Grunde zu derselben Ebene symmetrisch; eine der Ebene parallele Fläche *l* liegt symmetrisch zu ihrer parallelen Gegenfläche, und eine darauf senkrechte Fläche *r* ist für sich allein schon zu ihr symmetrisch. Zwei symmetrisch zu der Ebene liegenden Flächenpaare *m* und *s* geben zwei ebenfalls zu der Ebene symmetrisch liegende Kantenpaare *m*/*s* etc.; ebenso müssen auch die Ecken, welche die symmetrisch liegenden Flächen mit einander bilden, zu der Ebene symmetrisch sein, z. B. die beiden Ecken *msr*.

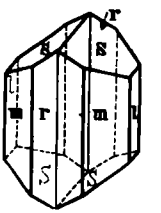

Fig. 29.

Eine solche Ebene, zu welcher die sämmtlichen Flächen, Kanten und Ecken eines Krystalls symmetrisch liegen, heisst eine *Symmetrieebene* (S. E.) des letzteren. Schon wenn der Nachweis geführt ist, dass nur ein Flächen-, Kanten- oder Eckenpaar eines Krystalls zu einer Ebene symmetrisch liegt, kann man schliessen, dass diese eine Symmetrieebene auch für alle andern Begrenzungselemente des Krystalls, also auch für diesen selbst ist.

Da jede S. E. mit jedem am Krystall vorhandenen zu ihr symmetrischen Flächenpaare in derselben Zone liegt, so ist sie stets eine mögliche Fläche des Krystalls, denn jede durch zwei Zonen bestimmte Fläche ist eine mögliche Krystallfläche (36). Im obigen Krystall z. B. ist die Fläche *l* die Symmetrieebene.

42. Grad der Symmetrie. Untersucht man alle bekannten Krystalle, einfache Formen sowohl wie Combinationen, auf ihre Symmetrieverhältnisse, so findet man, dass sich durch einen Theil derselben gar keine Symmetrieebene hindurchlegen lässt, dass dagegen die Begrenzungselemente bei andern nach 1, 3, 5, 7 oder 9 Ebenen

symmetrisch angeordnet sind. Zugleich findet man, dass bei allen Krystallen, welche eine gleiche Anzahl von Symmetrieebenen haben, diese letzteren stets genau in derselben Weise gegen einander liegen, d. h. dass sie sich stets unter denselben Winkeln schneiden, so dass also die Angabe der Zahl der Symmetrieebenen eines Krystalls die Angabe der Gruppirung derselben involvirt. Beispielsweise stehen bei allen Krystallen mit drei Symmetrieebenen diese senkrecht auf einander.

Die Zahl der an einem Krystall vorhandenen S. E. bedingt das *Maass* oder *den Grad der Symmetrie* desselben. Krystalle vom gleichen Grade der Symmetrie sind solche, welche dieselbe Zahl von S. E. besitzen. Je mehr S. E. ein Krystall besitzt, desto höher ist der Grad der Symmetrie, desto symmetrischer ist er gebaut.

Die Symmetrieverhältnisse der Krystalle stehen im engsten Zusammenhang mit dem Gesetz der rationalen Kantenschnitte (dem Zonengesetz). Es lässt sich nämlich mathematisch nachweisen, dass Flächencomplexe, deren Flächen so angeordnet sind, dass für sie, wie dies bei Krystallen der Fall ist, jenes Gesetz gilt, nur in der Weise symmetrisch gebaut sein können, wie es auch für die Krystalle thatsächlich beobachtet ist, also nach 0, 1, 3, 5, 7 oder 9 S. E., nicht aber etwa z. B. nach 6 oder 8 S. E., und dass bei solchen Flächencomplexen auch andere gegenseitige Lagen der S. E. als die beobachteten als unmöglich ausgeschlossen sind, dass also z. B. 3 S. E. auch als Consequenz der Rationalität der Kantenschnitte nothwendig auf einander senkrecht sein müssen. Die an den Krystallen direct beobachteten Symmetrieverhältnisse stimmen mit den aus den rationalen Kantenschnitten gefolgerten vollkommen überein, einmal sofern keine andere Symmetrie, als die nach dem Gesetz der rationalen Kantenschnitte möglichen an den Krystallen beobachtet worden ist — dies ist eben die nothwendige Folge dieses Gesetzes —; sodann auch, sofern alle nach dem Gesetz möglichen Grade von Symmetrie auch factisch an Krystallen ausgebildet vorkommen.

43. Krystallsysteme. Man fasst die sämmtlichen Krystalle, welche einen und denselben Grad der Symmetrie haben, zusammen zu einer Gruppe, welche man ein *Krystallsystem* nennt. *Ein Krystallsystem ist also der Inbegriff aller Krystalle, welche denselben Grad von Symmetrie besitzen.*

Solcher Krystallsysteme giebt es im Ganzen sechs, und wie wir (42) gesehen haben, kann es auch nur 6 geben. Dieselben haben besondere Namen erhalten, welche im Folgenden unter Zufügung der Zahl und Lage der sie charakterisirenden S. E. angeführt sind.

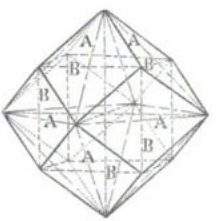

Fig. 30.

1. Reguläres System. 9 S. E. Davon sind drei gleiche *A* auf einander senkrecht und schneiden sich in drei gleichen auf einander senkrechten Kanten; 6 andere unter sich gleiche S. E. *B* liegen so, dass je zwei durch eine Kante *A*/*A* gehen und die Winkel der beiden die Kante bildenden Flächen *A* halbiren. Je zwei S. E. *A* und *B* liegen also in einer Zone und schneiden sich unter 45°. Die Flächen *B* sind S. E. zu *A* und umgekehrt. Ein regulärer Krystall (Granatoëder) mit seinen 9 S. E. *A* und *B* ist in Fig. 30 abgebildet.

Dass die S. E. *A* und *B* verschieden sind, sieht man leicht, denn wären sie

gleich, so müsste zwischen einer Fläche *A* und *B* noch eine weitere S. E. vorhanden sein. 9 S. E. bedingen also eine Verschiedenheit von *A* und *B*. Aehnliche Betrachtungen gelten auch bei den andern Systemen.

2. Hexagonales System. 7 S. E. 6 abwechselnd gleiche *A* und *B* liegen in einer Zone und machen 30° mit einander. Die siebente *C* ist senkrecht zu allen sechsen und von ihnen allen verschieden. Diese 7 S. E. schneiden sich in 7 Kanten, von welchen 6 abwechselnd gleiche in einer Ebene liegen und 30° mit einander machen, während die siebente von ihnen verschiedene auf ihnen allen senkrecht steht. (Fig. 31.)*)

3. Quadratisches System. 5 S. E. Vier abwechselnd gleiche *A* und *B* liegen in einer Zone und schneiden sich unter 45°. Die fünfte davon

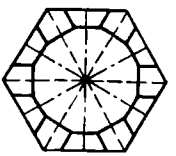

Fig. 31.

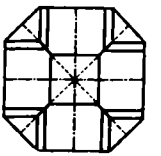

Fig. 32.

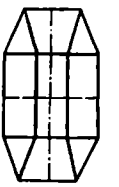

Fig. 33.

verschiedene *C* ist senkrecht zu jenen vier. Diese 5 S. E. schneiden sich in Kanten, von denen 4 abwechselnd gleiche in einer Ebene liegen und 45° machen, während die fünfte davon verschiedene auf den vieren senkrecht steht. (Fig. 32.)*)

4. Rhombisches System. 3 S. E., sind alle ungleich und schneiden sich unter rechten Winkeln in drei ebenfalls auf einander senkrechten ungleichen Kanten. (Fig. 33.)*)

5. Monoklines System. 1 S. E. (Fig. 29.)

6. Triklines System. 0 S. E. (Fig. 28.)

44. Grenzformen. Zuweilen findet man, dass Formen, denen factisch eine niedere Symmetrie zukommt, sich so sehr einer Form mit höherer Symmetrie nähern, dass ihnen ohne die genaueste Untersuchung jene höhere Symmetrie zugeschrieben werden müsste. So krystallisirt der Leucit in Formen, welche so sehr einem sog. regulären Ikositetraëder (58) ähnlich sind (Fig. 162), dass man das Mineral früher für regulär gehalten und jene regulären Formen darnach Leucitoëder genannt hat. Factisch sind aber die Formen des Leucits quadratisch, und zwar Combinationen eines Oktaëders und eines Dioktaëders (58, 79). Solche Formen nennt man *Grenzformen*, die ganze Erscheinung *Pseudosymmetrie*. Der Leucit wäre also pseudoregulär. Aehnliches beobachtet man an manchen rhombischen Krystallen, welche pseudohexagonal sind, z. B. am Carnallit etc. Aehnliche Pseudosymmetrien können auch durch Zwillingsbildung hervorgebracht werden (Mimesie, 105).

45. Modification der Kanten und Ecken. Combinationen verschiedener einfacher Krystallformen kann man sich geometrisch so entstanden denken, — in der Natur bei der Bildung der Krystalle ist der Vorgang natürlich ein ganz anderer — dass an den Kanten

*) Eine Symmetrieebene fällt mit der Zeichnungsebene zusammen.

und Ecken der einen Form die Flächen der andern mehr oder weniger grosse Stücke von der ersteren abschneidet. So schneidet bei der in (9) beschriebenen Combination des Oktaëders mit dem Würfel jede Würfelfläche eine Oktaëderecke weg und umgekehrt.

Dieses Abschneiden von Kanten und Ecken, die sog. *Modificationen* derselben durch Flächen, welches bei der Krystallbeschreibung vielfach erwähnt werden muss, wird je nach den speciellen dabei vorkommenden Verhältnissen mit besondern Namen belegt.

Eine Kante a/b heisst *abgestumpft* durch die Fläche c, wenn diese die zwei Flächen a und b in parallelen Kanten schneidet (mit a und b in einer Zone liegt) (Fig. 34); c heisst Abstumpfungsfläche. Ist $\measuredangle\, a/c = \measuredangle\, b/c$, so ist die Abstumpfung gerade, im andern Falle schief. Ist neben der Fläche c noch eine weitere d in der Zone $[ab]$ vorhanden (Fig. 35), so sagt man, die Kante a/b ist durch die Flächen c und d zugeschärft. Auch hier kann die Zuschärfung eine gerade oder schiefe sein, je nachdem $\measuredangle\, a/c = \measuredangle\, b/d$ oder nicht.

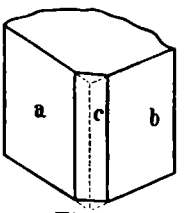

Fig. 34.

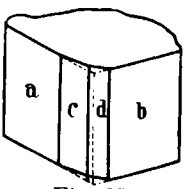

Fig. 35.

Ist eine Ecke (abc) durch eine Fläche d ersetzt, so sagt man, die Fläche stumpft die Ecke ab (Fig. 36), und zwar wieder entweder gerade oder schief, je nachdem die Abstumpfungsfläche gleiche oder ungleiche Winkel mit den die Ecke bildenden Flächen macht. Treten statt der Ecke mehrere Flächen auf, so heisst die Ecke zugeschärft, und zwar

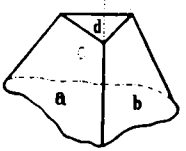

Fig. 36.

Fig. 37.

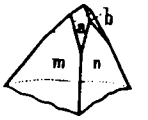

Fig. 38.

von den Flächen aus (Fig. 37) oder von den Kanten aus (Fig. 38). Die Fläche a (Fig. 38) heisst auf die Kante m/n aufgesetzt, und zwar gerade, wenn $\measuredangle\, a/m = \measuredangle\, a/n$, sonst schief. In Fig. 37 ist die Fläche a auf die Fläche m aufgesetzt.

46. Symmetriegesetz. Diese Zuschärfungen und Abstumpfungen von Kanten und Ecken gehen nun aber an den Krystallformen nicht regellos und willkürlich vor sich, sondern sie sind beherrscht durch das von *Haüy* zuerst angegebene *Symmetriegesetz: Bei eintretenden*

Combinationen erleiden gleiche Begrenzungselemente der Krystalle — gleiche Flächen, Kanten und Ecken — gleiche Veränderungen (Modificationen) durch die dazutretenden Flächen, d. h. die gleichen Begrenzungselemente werden von den neu hinzutretenden Flächen stets vollkommen gleich geschnitten, wenn keine Hemiëdrie oder Hemimorphie auftritt (56, 57).

Darnach kann an einem vollflächigen Krystall nie eine von zwei gleichen Flächen gebildete Kante anders als gerade abgestumpft sein, weil nur so die zwei gleichen Flächen gleich, d. h. unter zwei gleichen Winkeln geschnitten werden. Stumpft eine Fläche eine solche Kante schief ab, so muss stets noch eine zweite Fläche da sein, welche dieselbe Kante nach der andern Seite hin ebenso schief abstumpft, d. h., welche die zweite Fläche unter demselben Winkel schneidet, wie die erste Abstumpfungsfläche die erste Fläche an der Kante schneidet. Durch diese beiden Flächen werden die beiden die Kante bildenden Flächen wieder gleich geschnitten; die Kante ist dann zugeschärft. Wenn an einer Krystallform eine Kante abgestumpft oder zugeschärft ist, so müssen auch alle andern ihr gleichen Kanten in derselben Weise abgestumpft oder zugeschärft sein. Dasselbe gilt für die Ecken. Ungleiche Kanten und Ecken können in verschiedener Weise von zutretenden Flächen modificirt werden.

Beispiel. Eine Würfelkante (Fig. 66) wird entweder von einer Fläche ∞O gerade abgestumpft oder von zwei Flächen, $\infty O 2$ welche je mit der anstossenden Würfelfläche $\infty O \infty$ gleiche Winkel machen, gerade zugeschärft (Fig. 73), denn alle Würfelflächen sind einander gleich. Nur für den Fall der Hemiëdrie (64) werden Würfelkanten schief abgestumpft (Fig. 100). Da ferner alle Kanten des Würfels gleich sind, so müssen sie auch nothwendig alle abgestumpft resp. zugeschärft werden, sobald eine es ist. Das reguläre Dodekaëder (Granatoëder) (Fig. 43) hat dreikantige und vierkantige je untereinander gleiche Ecken, deren jede von lauter gleichen Flächen und Kanten gebildet ist. Beiderlei Ecken können nur gerade abgestumpft oder vollkommen symmetrisch zugeschärft werden, so dass alle Kanten und Flächen an der Ecke von den Zuschärfungsflächen ganz gleich geschnitten werden. Alle Ecken einer Art müssen gleich modificirt, also alle abgestumpft, oder alle in derselben Weise zugeschärft werden. Aber wenn die dreiflächigen Ecken abgestumpft oder zugeschärft sind, so brauchen es nicht nothwendig die vierkantigen auch zu sein und umgekehrt. Sie werden, da sie ungleich sind, in ganz unabhängiger Weise modificirt, so dass z. B. die Form Fig. 67 entstehen kann, wo nur die vierkantigen Ecken abgestumpft sind, die dreikantigen nicht, und ebenso die Form Fig. 69 oder 45, wo das Umgekehrte der Fall ist; oder es kann auch die eine Gruppe von Ecken zugeschärft, die andere abgestumpft sein, allerdings auch beide gerade abgestumpft (vergl. 47).

47. Anordnung der einfachen Formen in den Combinationen. Das Symmetriegesetz erfordert also häufig das gleichzeitige Auftreten von anderen Flächen, wenn eine solche an einer bestimmten Stelle eines Krystalls in einer bestimmten Weise vorkommt. Die Erfahrung zeigt nun, dass alle diese von der Symmetrie als gleichzeitig auftretend erforderten Flächen stets untereinander gleich und von allen andern Flächen verschieden sind, so dass sie einfache Krystallformen bilden.

So sind stets alle die Würfelkanten abstumpfenden oder in gleicher Weise zuschärfenden Flächen untereinander gleich, ebenso alle Abstumpfungsflächen der dreikantigen und ferner die der vierkantigen Granatoëderecken etc., während die letzteren

Flächen von den vorletzten, wenn sie an demselben Granatoëder zugleich auftreten (Fig. 70), stets verschieden sind. Denkt man sich z. B. alle Flächen ausgedehnt, welche die dreikantigen Ecken des Granatoëders abstumpfen, so erhält man das schon aus (9) bekannte Oktaëder; die Abstumpfungsflächen der vierkantigen Ecken geben den ebenfalls von dort bekannten Würfel.

Da aber nicht nur die Flächen, sondern auch die Kanten und Ecken eines Krystalls symmetrisch zu den Symmetrieebenen desselben liegen (41), so muss nothwendig die Gesammtheit der durch solche Abstumpfungen und Zuschärfungen der letzteren am Krystall auftretenden Flächen symmetrisch nach denselben Symmetrieebenen angeordnet sein, welche an jenem Krystall selbst herrschen. Die durch die Abstumpfung und Zuschärfung von gleichen Kanten und Ecken eines Krystalls neu entstehenden einfachen Krystallformen gehören also demselben Krystallsystem an, wie die ursprünglichen Formen, deren Kanten und Ecken die Abstumpfung etc. erlitten haben, und zwar in der Art, dass die Symmetrieebenen der ursprünglichen Form und der mit ihr in Combination tretenden neuen Form zusammenfallen unter sich und mit den Symmetrieebenen der wieder demselben System angehörigen Combination selbst. Die zwei oben erwähnten Beispiele können auch als Beispiele hierfür gelten. Das Granatoëder sowohl wie der die Ecken abstumpfenden Würfel und das Oktaëder haben 9 Symmetrieebenen und gehören daher dem regulären System an. Es folgt daraus das Gesetz der Combinationsbildung: *In den Combinationen sind nur einfache Formen desselben Krystallsystems mit einander vereinigt und die Combination selbst gehört ebenfalls diesem Krystallsystem an. Die S. E. aller combinirten einfachen Formen fallen mit den entsprechenden der Combination zusammen.*

48. Bildung von Combinationen. Darnach kann man sich die Combination zweier (oder mehrerer) beliebiger einfacher Krystallformen leicht klar machen: Man stellt sie mit parallelen Symmetrieebenen neben einander und lässt dann die Flächen der einen Form die entsprechenden Kanten oder Ecken der andern Form abstumpfen oder zuschärfen, indem man sich jene Flächen parallel mit sich selbst an die Form, welche die Modification erleiden soll, hingetragen denkt. Man findet dabei infolge der übereinstimmenden Symmetrie stets, dass einer Gruppe gleicher Ecken oder Kanten der einen Form ebenso viele gleiche Flächen oder Flächengruppen der andern Form der Lage nach entsprechen, durch welche jene gleichen Ecken und Kanten stets in gleicher Weise modificirt werden.

So erhält man leicht z. B. die Combination des Würfels *h* (Fig. 39) und des Granatoëders *d* (Fig. 41), beide dem regulären System angehörig. Man stellt sie mit parallelen Symmetrieebenen (oder Axen) neben einander, dann sieht man sofort, dass jede Granatoëderfläche der Lage nach einer Würfelkante entspricht, und wenn man die Granatoëderflächen parallel mit sich an den Würfel transportirt, so stumpft jede dieser 12 Flächen eine der 12 Würfelkanten ab, und zwar nothwendig gerade wegen der Gleichheit der Würfelflächen (was sich übrigens auch auf mathematischem Wege beweisen lässt). Es entsteht dadurch die Form Fig. 40. Dass durch Ausdehnung der Abstumpfungsflächen *d* der Würfelkanten wirklich das Granatoëder entsteht, zeigt die-