

Das Wesen der Krystalle.

Habilitationsvortrag gehalten am 17. Juli 1873.

Von **Dr. Aristides Brezina.**

*Separat-Abdruck aus den Mineralogischen Mittheilungen 1873.
Heft III, ges. von Tschermak.*

I. Das Wesen der Krystalle.

Habilitationsvortrag gehalten am 17. Juli 1873.

Von **Dr. Aristides Brezina.**

Meine Herren!

Der Gegenstand, den ich heute zu besprechen habe, das Wesen der Krystalle, erhält seine hohe Bedeutung durch die Rolle, welche ihm die gegenwärtige Richtung der physikalischen Wissenschaften zuweist.

Diese in ihren abwechselnden Phasen gleicht der Welle in einem kreisrunden Wasserbecken, die durch einen hineingeworfenen Stein erregt wird; sie pflanzt sich fort von innen nach aussen, wachsend an Umfang vom Punkte bis zum grossen Kreise; strahlenförmig schiessen ihre einzelnen Theile auseinander, sich weiter und weiter von einander entfernend, bis sie an die Gefässwand als Grenze gelangen, die sie bricht und zur Umkehr zwingt; von aussen nach innen wandernd, immer enger zusammendrängend, kehren nun die Theilchen zurück, bis sie wieder in einem Punkte sich treffen und von Neuem die Bewegung beginnen.

So entwickelt sich aus einem kleinen Kerne von Thatsachen und Hypothesen die Forschung; immer weiter ins Einzelne geht ihr Weg, immer grösser wird ihr Umfang und immer weiter entfernen sich ihre einzelnen Theile, die verschiedenen Zweige dieser Wissenschaft, von einander, je tiefer die Forschung in die verschiedenen Gruppen von Erscheinungen eindringt; endlich kommt sie an eine Grenze, die vermöge der Beschaffenheit der zu Grunde gelegten Anschauungen nicht überschritten werden kann; sowie die Welle an Intensität, so verlieren die Resultate der Forschung immer mehr an Gewicht und Bedeutung, je mehr sie sich der Grenze nähern; die alten Methoden sind ausgebeutet und erschöpft und es tritt eine Umkehr ein; nach einem Punkte zurückstrebend verallgemeinert sich die Tendenz der einzelnen Doctrinen; sie treten sich immer näher, immer enger wird ihr Zusammenhang, bis alle Erscheinungen auf eine wirkende Ursache zurückgeführt sind.

Während aber in unserem Bilde die Welle immer wieder auf ihren Ausgangspunkt zurückkommt, von wo sie auch ausgegangen sein mag, ist der neue Sammelpunkt der Forschungszweige, die neue Theorie, ein

anderer als ihr Ausgangspunkt gewesen; die Forschung ändert ja ihre Richtung auf ihrem Wege; und so kehrt sie zu immer neuen Centren zurück, das heisst, zu immer neuen Theorien, immer näher kommend dem wahren Mittelpunkte, den sie doch vielleicht niemals erreicht, der Wahrheit.

Die zweite Richtung nun, die verallgemeinernde, nach Einheit strebende, ist heute herrschend, immer zahlreicher und umfassender werden die Beziehungen zwischen Erscheinungen verschiedener Art; immer stärker und begründeter erhebt sich die Forderung nach neuen gemeinsamen Grundlagen, nach einem neuen Aufbau der Fundamente, auf denen die physikalischen Wissenschaften beruhen.

Das Feld, auf dem diese Umgestaltung vor sich gehen wird, ist das Gebiet der Krystalle; um diess klar zu machen, werde ich Ihnen zunächst die Grundeigenschaften derselben vorführen.

Es verhält sich der Krystall seinem inneren Baue nach zur gewöhnlichen Materie, wie eine regelmässige Lagerung gleichartiger Bausteine zu einem planlos aufgethürmten Steinhaufen, wie ein Buch zu einem Haufen loser durcheinander geschüttelter Blätter; jene sind ein Sinnbild der mathematischen Gewissheit, diese der Wahrscheinlichkeit.

Ein genaues Bild vom Baue eines Krystalles erhalten Sie, wenn Sie eine Anzahl gleichgeformter und gleichgrosser Steine auf solche Weise anordnen, dass Sie zunächst eine Reihe derselben in genau gleicher Weise aneinander legen; in einer solchen Reihe sind alle Steine sowohl gleich gerichtet, als auch gleich vertheilt, der Zwischenraum zwischen je zwei aneinanderliegenden ist für die ganze Reihe derselbe. Nun bilden Sie eine zweite, der ersten vollkommen gleiche Reihe und legen sie so neben dieselbe, dass ihre Steine mit denen der ersten Reihe wiederum gleich gerichtet sind; eine dritte Reihe legen Sie so neben die zweite, wie Sie diese neben die erste gelegt haben; und sofort eine vierte, fünfte Reihe, so dass Sie eine Schichte von Steinen erhalten, in der keiner willkürlich liegt; die Stellung ist für alle dieselbe und auch die Art der Aneinanderreihung in irgend einer Richtung bleibt gleich, von welchem Steine Sie auch ausgehen mögen; nun bilden Sie wiederum eine zweite, der ersten gleiche Schichte und legen sie so auf dieselbe, dass die Stellung der Steine in beiden Schichten dieselbe ist; auf die zweite Schichte eine dritte in derselben Weise und so fort; so haben Sie in der That einen Krystall im grossen erzeugt, mit allen seinen Merkmalen, vor allem mit dem des gesetzmässigen Baues.

Sie sehen jetzt, dass wirklich ein Krystall ein Sinnbild der mathematischen Gewissheit ist; denn die Stellung und Lage eines jeden seiner Theilchen ist durch ein bestimmtes, mathematisch ausdrückbares Gesetz gegeben, während die unkrystallisirte Materie, das Sinnbild der mathematischen Wahrscheinlichkeit, unter keinem derartigen Gesetze steht; es bleibt dem Zufall überlassen, welche Stellung und Lage ein Theilchen zu den ihm nahe liegenden inne hat.

Es ist also eine innere, wesentliche Eigenschaft, die den Krystall auszeichnet; nicht die Begrenzung durch ebene Flächen, nicht die Spaltbarkeit, sondern die gleiche und stetig sich wiederholende Lage der einzelnen Partikel charakterisirt ihn; Sie können seine Oberfläche zerstören, ihn zerschlagen, immer bleibt noch ein jedes Bruchstück dessel-

ben ein Krystall, denn es besitzt wie früher die gleiche gesetzmässige Anordnung der Partikel, durch die er gekennzeichnet ist.

Aus dieser Grundeigenschaft der Krystalle lässt sich auf mathematischem Wege eine ganze Reihe von Folgerungen ziehen; die erste und wichtigste derselben ist, dass nur eine beschränkte Anzahl verschiedener Anordnungsweisen möglich ist; so ist es beispielsweise unmöglich, dass sich die Theilchen eines Krystalles zu einem regulären Pentagone-Dodekaëder der Geometrie gruppieren, weil eine solche Anordnungsweise mit der Bedingung der gleichmässigen Vertheilung nicht vereinbar ist; und zwar ist die Zahl der möglichen verschiedenen Gruppierungsarten oder Modus auf 14 beschränkt, welche durch mathematische Formeln ausdrückbar, deren Eigenschaften gewissen Gesetzen unterworfen sind.

Unter diesen Gesetzen ist von der grössten Bedeutung das der Symmetrie; wenn nämlich ein Körper so constituiert ist, dass eine in ihn hineingedachte Ebene ihn in zwei ganz gleiche Hälften zerlegt, das heisst in unserem Falle, wo es nur auf Stellung und Lage der Partikel ankommt, wenn die Vertheilung derselben zu beiden Seiten dieser Ebene genau die gleiche ist, so sagen wir, der Krystall ist symmetrisch bezüglich dieser Ebene und sie selbst nennen wir eine Symmetrieebene desselben.

Es kann nun ein Krystall, als gesetzmässiges Aggregat von Partikeln betrachtet, zugleich nach mehreren Ebenen symmetrisch sein, welche zusammengenommen den Symmetriecomplex des betreffenden Krystalles bilden, und wenn wir die erwähnten 14 möglichen Modus bezüglich ihrer Symmetriecomplexe untersuchen, so finden wir, dass dieselben bei mehreren derselben identisch sind, so dass unter ihnen nur 7 verschiedene Arten von Symmetrie vertreten sind, welche den sieben verschiedenen Krystalssystemen entsprechen.

Noch viele andere Schlüsse lassen sich aus den Gesetzen für die verschiedenen Anordnungsweisen auf mathematischem Wege ableiten, die ich hier übergehen muss, um mich sofort der Begründung meiner früheren Behauptung zuzuwenden, es sei die Lehre von den Krystallen das Gebiet, auf dem allein die Herstellung einer einheitlichen Theorie der physikalischen Erscheinungen möglich ist.

Es ist hierzu nothwendig, an die Art und Weise der Forschung in diesen Wissenschaften zu erinnern.

Irgend eine Gruppe von Erscheinungen, ich will sagen, die optischen, hängen im Allgemeinen ab von verschiedenen veränderlichen Grössen, von Dichte, Temperatur und sofort. Wenn wir also speciell eine optische Grösse betrachten, zum Beispiele den Brechungsquotienten, so ist dessen Abhängigkeit von den Veränderlichen durch ein Gesetz beherrscht, das wir uns durch eine Gleichung ausgedrückt denken können, in welcher die unabhängigen Grössen (Dichte, Temperatur) und die abhängige (Brechungsquotient) als veränderliche auftreten und ausserdem eine Anzahl von Constanten, welche letztere im Allgemeinen von der Natur des als Substrat dienenden Körpers abhängen.

Die Periode der specialisirenden Forschung nun hatte die Aufgabe, die Beziehungen zwischen zwei oder mehr veränderlichen Grössen mit möglichster Annäherung an die Wirklichkeit darzustellen, ohne

Rücksicht auf die Form, in der diese Beziehungen dargestellt wurden; es kam also nicht darauf an, die Natur der oben erwähnten Gleichung zu finden, sondern für dieselbe irgend eine plausible Gleichung willkürlich zu supponiren und darin die Constanten so genau zu bestimmen, dass innerhalb der Beobachtungsfehler und — Grenzen das beobachtete Verhältniss zwischen den Veränderlichen durch diese Gleichung wirklich dargestellt wurde.

Dieser Zweck war am sichersten und leichtesten zu erreichen, wenn man unter möglichst einfachen, sozusagen Durchschnittsverhältnissen arbeitete, ohne Rücksicht darauf, ob dabei eine absolute Genauigkeit und Richtigkeit im mathematischen Sinne erreicht wurde; die Unrichtigkeit durfte nur den Betrag der unvermeidlichen Beobachtungsfehler nicht erreichen.

Zu diesem Behufe war vor Allem die Untersuchung der unkrystallisirten Substanzen geeignet; da nämlich bei denselben angenommen werden kann, dass für irgend ein Partikel eine jede Stellung und Lage die gleiche mathematische Wahrscheinlichkeit besitzt, durfte die Vertheilung derselben a priori als gleichmässig nach jeder Richtung angenommen werden, indem man sicher war, mit der durch diese Annahme hervorgerufenen Ungenauigkeit die Beobachtungsfehler nicht zu erreichen; weil somit bei diesen Substanzen alle jene Complicationen hinwegfielen, welche durch Berücksichtigung der nach verschiedenen Richtungen verschiedenen Molecularvertheilung eingeführt worden wären.

Eine ganz andere Aufgabe hat die zweite, generalisirende Periode der Forschung; ihr Ziel ist die Zurückführung der Erscheinungen verschiedener Art, als Wärme, Licht, Electricität, Magnetismus u. s. f., auf eine gemeinsame Ursache; es kommt hier nicht darauf an, durch möglichst angenäherte Darstellung der Beziehungen von Grössen einer Gruppe die wirklichen Verhältnisse innerhalb der Beobachtungsfehler wiederzugeben, sondern sie muss vor Allem die Form und Natur jener oben erwähnten Gleichungen erforschen, weil nur daraus theoretische Beziehungen zwischen verschiedenen Gruppen von Erscheinungen aufgefunden werden können; sie braucht daher nicht Annäherung innerhalb der Beobachtungsfehler, sei sie noch so gross, sondern absolute, mathematische Sicherheit.

Es muss daher in diesem Falle von vornherein jeder Factor ausgeschlossen werden, durch welchen jene absolute Sicherheit unmöglich würde; es darf nicht auf wahrscheinliche Durchschnittswerthe die Beobachtung basirt werden, es bieten sich daher naturgemäss für diese Richtung der Forschung die Krystalle als einzig brauchbares Substrat, da bei ihnen die mathematisch genau bekannte Anordnungsweise auch in Berechnung gezogen werden kann.

Ich glaube, dass schon das bisher Gesagte hinreichen dürfte, die Wahrheit meiner Behauptung zu erweisen; es liegt jedoch noch ein weiterer Umstand vor, der dieselbe bestätigen wird; um diesen zu erläutern, greife ich auf das früher Gegebene über die Constitution der Krystalle zurück.

Wir haben gesehen, dass der Krystall als Complex betrachtet nach 14 verschiedenen Modus aus Partikeln bestehen kann; dass diese 14 Modus 7 verschiedene Arten von Symmetrie besitzen, welche den bisher bekannten Krystallssystemen entsprechen. Es kann also ein nur aus gleichförmig vertheilten Partikeln bestehender Complex keine andere Symmetrie zeigen als eine der bisher erwähnten.

Es war nun naheliegend, zu vermuthen, dass alle Eigenschaften eines Krystalles, der einer bestimmten Symmetriegruppe angehört, ebenfalls diese Symmetrie befolgen würden; dass also die Symmetrie des ganzen Krystalles jederzeit der jetzigen gleich sei, nach welcher seine Partikel angeordnet sind.

Die Erfahrung hat jedoch dargethan, dass diess nicht der Fall sei; eine ganze Reihe physikalischer Eigenschaften weichen in vollkommen gesetzmässiger Weise von dieser Annahme ab; diese Abweichung findet sich nur bei gewissen Substanzen, bei denen sie jedoch vollkommen constant auftritt, welche Körper man mit dem Ausdruck meroëdrisch bezeichnet hat.

Durch die Existenz dieser Erscheinung ist nun der Beweis geliefert, dass die den Krystall constituirenden Partikeln selbst wieder aus Theilchen zusammengesetzt sein müssen, dass sie selbst wieder eine bestimmte Symmetrie besitzen müssen, welche mit der der 14 Modus im Allgemeinen nicht übereinstimmt, sondern nur in gewissen Fällen, welche man als Holoëdrie zusammenfasst, während die Meroëdrie alle jene Fälle enthält, wo diese Uebereinstimmung nicht stattfindet.

Auf ganz analoge Weise lässt sich der Beweis führen, dass auch diese Molecüle noch keine einfachen Körper, sondern selbst wieder aus Atomen zusammengesetzt seien, so dass wir in einem und demselben Krystall drei nach verschiedenen Gesetzen bestehende Anordnungsweisen haben, die der Partikel im Krystall, der Molecüle in den Partikeln und der Atome in den Molecülen.

Es ist nun a priori vorzusetzen, dass das physikalische Verhalten eines Krystalles abhängig ist von den drei Anordnungsweisen, der partikularen, der molecularen und der atomaren.

Die Fälle nun, in denen wir über eine dieser Anordnungsweisen an einem bestimmten Krystalle Kenntniss haben, lehren uns, dass diesel-

¹ Der Nachweis der Nothwendigkeit einer dritten Anordnungsweise, welcher in einer noch nicht publicirten Arbeit des Vortragenden ausführlich gegeben wird, beruht im Wesentlichen auf dem optischen Verhalten gewisser Krystalle.

Es ist bekannt, dass es Substanzen gibt, welche nur im krystallisirten, oder nur im unkrystallisirten oder in beiden Zuständen, oder endlich in keinem von beiden die Polarisationsebene des Lichtes drehen, wofür ich nur an die Beispiele Quarz, Kampher, Strychninsulfat und Magnesiumsulfat zu erinnern brauche.

Die particulare Anordnung kann auf eine derartige optische Erscheinung nachweisbar keinerlei Einfluss ausüben, weil von mehreren Krystallen, deren Modus vollkommen identisch sind, einzelne die Drehung besitzen, andere nicht.

Betrachten wir nun beispielsweise die beiden rhombischen Substanzen Seignettesalz und Magnesiumsulfat, wovon die erste in Lösung activ, die zweite inactiv ist, und deren Molecularanordnung die völlig gleiche Symmetrie besitzt, so sehen wir, dass auch diese zweite Anordnungsweise noch nicht ausreichend ist, sondern die Existenz einer dritten, der atomaren, erforderlich ist.

ben nicht alle physikalischen Eigenschaften in gleichem Masse beeinflussen, dass sogar gewisse physikalische Verhältnisse durch die eine oder die andere Anordnungsweise wenigstens keinerlei qualitative Veränderungen erleiden; die Wichtigkeit dieser Erscheinung ist einleuchtend; wir sind dadurch in die Lage versetzt, in gewissen Fällen nur eine Anordnungsweise in Rechnung ziehen zu müssen, wir haben somit in diesen Fällen die Einfachheit des Baues erreicht, ohne die absolut genaue Berechenbarkeit der krystallinischen Anordnungsweise verloren zu haben, und diess ist ein zweiter, höchst wichtiger Umstand, der uns die Untersuchung der Krystalle als Aufgabe der gegenwärtigen Forschungsrichtung empfiehlt.

Endlich erübrigt noch eine dritte Erwägung vorzubringen, welche auf derselben Erscheinung wie die früheren, dieselbe ergänzend, beruht.

Wir haben bisher immer eine krystallisirte Substanz betrachtet; dergleichen wir nun deren zwei mit Bezug auf ihre Anordnungsweisen; jede derselben besitzt deren drei, nämlich die partikulare, die moleculare und die atomare; offenbar kann jede derselben entweder für beide Substanzen dieselbe, oder verschieden sein, und wir werden somit ohneweiters 8 Gruppen von Fällen erhalten, je nachdem alle 3 Anordnungsweisen in beiden Körpern gleich, oder alle ungleich, oder zwei gleich, eine ungleich, oder endlich eine gleich zwei ungleich sind. ¹

Wir sind daher auch in jenen Fällen, wo der Einfluss einzelner von den drei Anordnungsweisen nicht verschwindet, in der Lage, durch den Vergleich mit anderen Substanzen sozusagen eine Anordnungsweise zu eliminiren und somit wiederum den einfachsten Fall einer Anordnungsweise herzustellen.

¹ An anderer Stelle soll nachgewiesen werden, wie die bisher erkannten Fälle von (verschiedenerlei) Isomorphie, Dimorphie etc. sich unter die acht angeführten Gruppen vertheilen, insofern die eine oder andere Anordnungsweise der betreffenden Substanzen bekannt ist.