

**ARGUMENTE FÜR DIE EXISTENZ EINES DIKLINEN KRISTALLSYSTEMS
IN DER FACHLITERATUR DES 19. JAHRHUNDERTS
EIN BEITRAG ZUR GESCHICHTE DER KRISTALLOGRAPHIE**

von

Franz Pertlik

Institut für Mineralogie und Kristallographie
Universität Wien, Geozentrum, Althanstrasse 14, A-1090 Wien, Austria

Wissensstand der Kristallographie zu Beginn des 19. Jahrhunderts

Als einer der bedeutendsten Vertreter der atomistischen Betrachtungsweise der Kristallographie zu Beginn des 19. Jahrhundert kann ohne Zweifel Rene-Just Haüy angesehen werden. Er stellte in seinen wissenschaftlichen Arbeiten die bis zu dieser Zeit bekannten kristallographischen Gesetzmäßigkeiten in ein einheitliches System und ergänzte dieses durch eigene weiterführende Überlegungen (HAÜY, 1801; 1822).

Christian Samuel Weiss übersetzte die ersten Veröffentlichungen Haüys in die deutsche Sprache. Bereits in der ersten Ausgabe seiner Übersetzung fügte Weiss eine Ergänzung unter dem Titel "Dynamische Ansicht der Krystallisation" ein (WEISS, 1804). Durch die Einführung von Achsensystemen begründete Weiss damit die dynamische Betrachtungsweise der Kristallographie. Die atomistischen Vorstellungen von Haüy bezüglich des Aufbaus von Kristallen und ihrer Formen konnten nachfolgend durch mathematische Gesetze belegt werden.

An Hand der an unterschiedlichsten Kristallen auftretenden Kristallflächen und den Verhältnissen der so genannten Achsenabschnitte dieser Flächen wies WEISS (1809; 1815; 1825) darauf hin, dass durch die von ihm vorgeschlagenen rechtwinkligen Achsensysteme die Lage jeder Fläche und sämtliche Richtungen definierbar sind. Zu bemerken ist, dass auch „niedrigsymmetrische“ Kristalle von Weiss in ein rechtwinkeliges Achsensystem gestellt und einem rhombischen System zugeordnet wurden.

Zur analytischen Beschreibung der Morphologie der Kristalle in Übereinstimmung mit ihrer Metrik wurden die von Weiss bereits 1804 vorgeschlagenen Achsensysteme (Koordinatensysteme) durch MOHS (1822) erweitert und auch geneigte Achsen zur Beschreibung in Betracht gezogen. Am Beginn der Dokumentation der exakten geometrischen Untersuchungen und Beschreibungen von Kristallen stand somit die Einführung von Achsensystemen (Koordinatensysteme), welche auch in dieser Zeit bereits als Kristallsysteme in die Literatur Eingang fanden. Eine ausführliche, übersichtliche tabellarische Zusammenstellung der Bezeichnungen der Kristallsysteme und deren Abteilungen unter Berücksichtigung nur rechtwinkliger Achsen ist von GLOCKER (1829) ohne Literaturangaben veröffentlicht worden (Abb. 1).

Hauptcrystallisations-systeme.	Abtheilungen nach d. Vollständigkeit oder Unvollständigkeit.	Specielle Crystallisations-systeme.	Horizontaler Durchschnitt.
I. Reguläres Crystallisations-system.	A. Homöedrisch reguläres.	1. Cubisch- <i>oktaedrisches</i> System. Würfel, <i>Oktaeder</i> , <i>Granatoeder</i> , <i>Leucitoeder</i> , <i>Pyramidenwürfel</i> , gebrochenes <i>Granatoeder</i> , <i>Pyramidenoktaeder</i> , <i>Pyramidengranatoeder</i> .	Quadrat. Dabei die Are gleich den beyden anderen Dimensionen.
	B. Hemiedrisch reguläres.	2. <i>Tetraedrisches</i> System. <i>Tetraeder</i> , <i>Pyramidentetraeder</i> , gebrochenes <i>Pyramidentetraeder</i> , <i>Trapezoiddodekaeder</i> .	
		3. <i>Pyritoedrisches</i> System. <i>Pyritoeder</i> , gebrochenes <i>Pyritoeder</i> .	
II. Rhomboedrisches Crystallisations-system.	A. <i>Rhomboedrisches</i> System im engeren Sinne.	4. <i>Rhomboedrisches</i> System. <i>Rhomboeder</i> , <i>rhomboedrische Pyramide</i> , <i>rhomboedrische Säule</i> und <i>Tafel</i> .	Reguläres Sechseck.
	B. <i>Dihæraedrisches</i> System.	5. <i>Dihæraedrisches</i> System. <i>Dihæraeder</i> , <i>Dipodekaeder</i> , <i>Ditrioeder</i> , <i>dihæraedrische Säule</i> und <i>Tafel</i> .	
III. Quadratisches Crystallisations-system.	A. Homöedrisch quadratisches.	6. <i>Quadratoktaedrisches</i> System. <i>Quadratoktaeder</i> , <i>quadratische Säule</i> , <i>Dioktaeder</i> , <i>dioktaedrische Säule</i> .	Quadrat. Dabei die Are verschieden von den beyden anderen Dimensionen.
	B. Hemiedrisch quadratisches.	7. <i>Quadrattetraedrisches</i> System. <i>Irreguläres quadratisches Tetraeder</i> , gebrochenes <i>irreg. quadr. Tetraeder</i> , <i>Trapezoidditetraeder</i> . — <i>Triangularditetraeder</i> .	
IV. Rhombisches Crystallisations-system.	A. Homöedrisch rhombisches.	8. <i>Disdyoedrisches</i> System. (<i>Orthorhombisches</i> .) <i>Rhombisches</i> oder <i>orthorhombisches Oktaeder</i> , <i>orthorhombische Säule</i> oder <i>Disdyoeder</i> ; <i>disdyoedrisches Oblongoktaeder</i> und <i>oblonge Säule</i> .	Rhombus.
	B. Terminal-hemiedrisch rhombisches.	9. <i>Dyhænoedrisches</i> System. (<i>Klinorhombisches</i> .) <i>Dyhænoeder</i> oder <i>klinorhombische Säule</i> , <i>dyhænoedrisch-rhombisches</i> oder <i>klinorhombisches Oktaeder</i> ; <i>dyhænoedrisches Oblongoktaeder</i> und <i>dyhænoedrisch-oblonge Säule</i> .	
	C. Lateral-hemiedrisch rhombisches.	10. <i>Hendyoedrisches</i> System. (<i>Orthorhomboidisches</i> .) <i>Hendyoeder</i> oder <i>orthorhomboidische Säule</i> , <i>hendyoedrisch-</i> oder <i>orthorhomboidisches Oktaeder</i> ; <i>hendyoedrisches Oblongoktaeder</i> .	Rhomboid.
	D. Vollständig-hemiedrisch rhombisches.	11. <i>Hænoedrisches</i> System. (<i>Klinorhomboidisches</i> .) <i>Hænoeder</i> oder <i>klinorhomboidische Säule</i> . (<i>Hænoedrisch-</i> oder <i>klinorhomboidisches Oktaeder</i> .)	

Abb. 1

Zusammenstellung der Nomenklatur der Kristallsysteme und deren Unterabteilungen auf der Basis rechtwinkliger Achsen aus GLOCKER (1829).

In einem historischen Überblick fasste HASSE (1848) die von den Autoren WEISS (1815; 1825), MOHS (1822; 1824) und NAUMANN (1824; 1826; 1830) verwendete Nomenklatur für die Kristallsysteme in orthogonaler Beschreibung wie folgt zusammen:

Tesseral,	nach Weiß:	<i>tessulares, reguläres, sphäroedrisches, gleichgliedriges System;</i>
	nach Mohs:	<i>tessulares (auch tessularisches) System;</i>
	nach Naumann:	<i>tesserales oder isometrisches System;</i>
Tetragonal,	nach Weiß:	<i>viergliedriges oder zwei= u. einaxiges System;</i>
	nach Mohs:	<i>pyramidales System;</i>
	nach Naumann:	<i>tetragonales oder monodimetrisches System;</i>
Hexagonal,	nach Weiß:	<i>sechsgliedriges, drei= u. dreigliedriges System;</i>
	nach Mohs:	<i>rhomboedrisches System;</i>
	nach Naumann:	<i>hexagonales oder monometrisches System;</i>
Rhombisch,	nach Weiß:	<i>zwei= und zweigliedrig, auch zwei= und eingliedrig, ein= und zweigliedrig und ein= und eingliedriges System;</i>
	nach Mohs:	<i>prismatisches System;</i>
	nach Naumann:	<i>das rhombische oder klinorhombische System.</i>

Die kristallographischen Symmetrieelemente und deren mögliche Kombinationen

Ein der Weiss'schen Systematik anhaftender Mangel beruhte darauf, dass der Begriff der Symmetrie und deren Elemente noch nicht weiter entwickelt war als bis zu dem Element einer "Symmetrieebene". Zu weiterführenden fundamentalen geometrischen Überlegungen in Bezug auf eine Ableitung der n-dimensionalen Punktgruppen musste der Begriff Symmetrie eine Erweiterung hinsichtlich seiner Elemente erfahren und über diese hinaus auch Kombinationen der einzelnen Elemente in Betracht gezogen werden. Im Fall der Kristallographie (dreidimensionaler euklidischer Raum) wurden unter einfachen Symmetrieelementen Drehung(en), Inversion(en) und Spiegelung(en) verstanden, durch die alleine oder unter Einbeziehung von Kombinationen dieser Elemente, aber unter Ausschluß von Drehungen (=Drehachsen) mit einer Zähligkeit von fünf oder größer/gleich sieben, 32 Punktgruppen definiert werden konnten. Diese 3-dimensionalen Punktgruppen (Kristallklassen) erlaubten erstmals eine vollständige Charakterisierung der Morphologie von Kristallen.

In den einleitenden Kapiteln der modernen kristallographischen Literatur wird, wenn überhaupt, die Ableitung der 32 Kristallklassen an Hand obgenannter Kombinationen von Symmetrieelementen durch HESSEL (1830) erwähnt. Kommentare zu dieser fundamentalen Arbeit veröffentlichten unter anderem SOHNCKE (1891) und HESS (1896), aber weder ein Hinweis auf einen früheren Artikel von FRANKENHEIM (1826) noch der Artikel selbst "Crystallonomische Aufsätze" wurde von diesen Autoren angeführt. Frankenheim ging von den Kristallsystemen nach WEISS (1815) aus, die er nach empirischer Betrachtung von diversen Polyedern in 32 Ordnungen teilte und somit als Erster die 32 Kristallklassen (= kristallographische Punktgruppen) definierte. Ein ausführlicher Kommentar zu dieser fast vergessenen Veröffentlichung wurde durch BURCKHARDT (1984) vorgestellt. Erwähnt sei noch, dass MINNIGERODE (1887) ganz allgemein die Frage nach möglichen Symmetrieeigenschaften von geometrischen Körpern vom Standpunkt der Gruppentheorie aus erstmals behandelt hat. Durch die Beugung von Röntgenstrahlen an Kristallgittern konnten im 20. Jahrhundert die 32 Kristallklassen und die zu deren Beschreibung herangezogenen Kristallsysteme auch experimentell durch die Symmetrien der Beugungsmuster belegt werden.

Das dikline Kristallsystem: empirische Ableitungen und Argumente

In einer Charakterisierung der chemischen Verbindung „unterschweflichtsaurer Kalk“ (= Calcium(II) Thiosulfat Hexahydrat, $\text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) teilte MITSCHERLICH (1826) mit (vgl. KOPP, 1849):

Ueber eine neue Klasse von Krystallformen

Häuß theilte die verschiedenen Krystallformen nach den Blätterdurchgängen und der Symmetrie der Flächen in eine grosse Anzahl allgemeiner Klassen. Weiss, Mohs, Hausmann und mehrere andere Krystallographen haben nur auf die Symmetrie der Flächen Rücksicht genommen und theilen die Krystallformen in zwei grosse Abtheilungen, wovon die eine das rhomboëdrische, die andere 5 Systeme enthält, das reguläre System, das quadratoctaëdrische (pyramidale), das rhombenocctaëdrische (prismatische System), das schiefe Prisma (hemiprismatische, ein- und zwei-gliedrige System), das schiefe Prisma mit rhomboidischer Basis (tetartoprismatisches, ein- und ein-gliedriges System). Zwischen den beiden letzteren Systemen liegt das System, was ich jetzt beschreiben werde, das am ausgezeichnetsten beim unterschweflichtsauren Kalk vorkömmt.

Die somit erstmals von Mitscherlich in der Einleitung seines Artikels aufgestellte Hypothese von der Existenz eines diklinen Kristallsystems wurde von ihm des Weiteren durch folgendes Zitat in Form einer Fußnote untermauert:

Herr Professor G. Rose schliesst aus seinen neuesten Beobachtungen über die Krystallformen des Feldspaths, dass diese gleichfalls zu diesem System gehören, indem nämlich P und M rechte Winkel bilden, und T und I unter verschiedenen Winkeln gegen M geneigt sind; man würde danach die Flächen nn als Seitenflächen des Prisma annehmen müssen. Siehe Annalen der Physik, 1823, St. 2. Taf. II. Fig 19.

In den von Mitscherlich angeführten und interpretierten wissenschaftlichen Untersuchungen an Feldspäten ging ROSE (1823) allerdings nicht direkt auf eine neue (weitere) Kristallklasse ein. Rose stellt die Feldspäte in das ein- und ein-gliedrige sowie in das zwei- und ein-gliedrige Kristallisationssystem. Lediglich in einem Kapitel „Zusatz“ findet sich folgende vorsichtige Formulierung, an welche sich über mehrere Seiten eine Diskussion bezüglich der Interpretation gemessener Winkel anschließt:

Das Krystallisations-System des Anorthits ist, was den Parallelismus der Kanten betrifft, dem des Feldspaths ganz gleich; es kommen die ähnlichen Flächen vor; oft ganz dieselben Verhältnisse in der Grösse derselben, und doch ist das System des Anorthits nicht allein von dem des Feldspaths verschieden, sondern es gehört auch zu einer ganz anderen Art von Krystallisations-Systemen.

In den folgenden Jahrzehnten wird immer wieder, vor allem auch in Lehrbüchern, auf ein diklines System hingewiesen; etwa bei RITGEN (1833):

Hört das Gleichgewicht in der Neigung der Achsen zu einander so sehr auf, dass nur noch unter einer und einer der Achsen ein rechtwinkeliges Verhältnis bleibt, so ist diess der Ausdruck einer noch weiter vorgeschrittenen Beziehung der wesentlichen Achsen zu einander.

Zur Hauptachse wählt man hier eine der zwei unter sich senkrechten wesentlichen Achsen.

Dieses Achsenverhältnis wird: Diklinometrie genannt.

Die Grundgestalt, welche sich hieraus ergibt, ist eine doppelt schiefe, gedrückte, achtflächige Doppelpyramide, die s. g. diklinometrische Pyramide.

Zur chronologischen Abfolge über die Diskussion bezüglich der Existenz eines diklinen Kristallsystems sei an dieser Stelle eine Ergänzung zu seinen kristallographischen Artikeln durch FRANKENHEIM (1842) angeführt:

Ein diklines System, von $\alpha = 90^\circ$, welches man zwischen das monoklinische und triklinische eingeschoben hat, entspricht unsern Gesetzen der Symmetrie nicht vollständig; man würde mit gleichem Rechte noch mehrere andere Classen aufstellen können, während in den sechs angeführten Systemen alle Stufen der Symmetrie, welche das Gesetz der Rationalität zulässt, erschöpft sind, sobald man nämlich zwei Normalen nur dann symmetrisch nennt, wenn sie nicht bloss zu den Normalen innerhalb einer Fläche, sondern zu sämtlichen Normalen der Krystallreihe eine symmetrische Lage haben.

Trotz der Überlegungen durch Frankenheim und Hessel und der angeführten Ergänzung dazu (FRANKENHEIM, 1842) wird an der Existenz eines diklinen Systems festgehalten, und wie gezeigt werden kann, dieses selbst von anerkannten Wissenschaftlern mit teils unakademischen

Mitteln verteidigt. Etwa NAUMANN (1856) schrieb als Rechtfertigung zur Annahme dieses Kristallsystems in seinem Lehrbuch:

Als Mitscherlich vor dreissig Jahren die Formen des unterschwefeligen Kalkes beschrieb (Poggendorf's Annalen, B. VIII, 1826, S. 427), da erkannte sein Scharfblick sogleich, dass diese Form einem ganz eigenthümlichen Gestaltungsgesetze unterworfen, und daher in ein besonderes Krystallsystem zu verweisen seien. Es ist jedoch der letzteren Folgerung vielfach die gebührende Anerkennung versagt, und die Selbständigkeit dieses Krystallsystems ignoriert oder angefochten worden. Da ich aber von der Richtigkeit jener Folgerung überzeugt war, so wurde es auch in einem besonderen Abschnitte meines Lehrbuches der Krystallographie (Band II, S. 95-117; auch Kupffer hat in seinem Handbuche der rechnenden Krystallonomie S. 456-481 diesem Systeme einen besonderen Abschnitt gewidmet, die Selbständigkeit desselben anerkannt, und dafür den Namen des tritoprismatischen Systems in Vorschlag gebracht. Rammelsberg hat sich in seinem Handbuche der krystallographischen Chemie gleichfalls zur Annahme desselben entschlossen.) zur Darstellung gebracht, und unter dem Namen des diklinoëdrischen Systems eingeführt. Die grosse Seltenheit solcher Krystallreihen, deren Formen den Gesetzen dieses Systems unterworfen sind, mag vielleicht die Ignorierung desselben veranlasst haben; sie kann jedoch keinen zureichenden Grund zu seiner Zurückweisung liefern.

Die von Naumann angesprochenen Literaturzitate beziehen sich einerseits auf eine Monographie, verfasst von KUPFFER (1831), andererseits auf eine solche von RAMMELSBURG (1855). Ähnlich wie etwa fünfzig Jahre später KREJČI (1886) beschrieb Kupffer mittels der analytischen Geometrie sehr ausführlich die im Raum möglichen Parallelepipede und schloss aus deren Ableitung auf die Existenz von einer gleichen Anzahl von Kristallsystemen. Ohne Hinweise auf eine mathematische Belegung findet sich bei RAMMELSBURG (1855) folgende Textstelle:

Diklinoedrisches System

Zwischen dem zwei- und eingliedrigen und dem eingliedrigem liegt noch ein neues, seiner Seltenheit und angefochtenen Existenz wegen nicht besonders hervorgehobenes Krystallsystem, das diklinoedrische. Sein Grundcharakter ist: Zwei Achsen sind rechtwinklig, die dritte ist schiefwinklig gegen beide.

Da praktisch alle nach 1826 erfolgten Hinweise auf dieses System sich auf die Arbeit von MITSCHERLICH (1826) bezogen und auf den deutschen Sprachraum beschränkt waren, kann angenommen werden, dass diese Veröffentlichung im Ausland weitestgehend unbekannt war. In der zeitgenössischen französischen Fachliteratur findet das dikline System keine Erwähnung. In der englischen Literatur wurde das dikline System bei PHILLIPS (1852) überhaupt nicht erwähnt. In der Übersetzung des Lehrbuches von W. H. Miller durch GRAILICH (1856) wurde angeführt:

Zwischen das einfach- und zweifachschiefsprismatische System stellte Mohs das hemianorthotype, Naumann das diklinoedrische System, in welchem zwei senkrechte Axen und eine dritte, gegen die beiden anderen geneigte Axe vorkommt. Sobald man die Symmetrie nicht auf Axen, sondern auf Coordinatenebenen bezieht, ist die Aufnahme dieses Systemes nothwendig geworden. Es sind nur wenig Substanzen, die in demselben krystallisieren: in diesem Buche sind sie unter die zweifachschiefsprismatischen aufgenommen.

ZIPPE (1859) führte in einer Definition der Gestalten der Minerale, der Begrenzungselemente der Kristalle, der Figuren der Kristallflächen und Ableitungen der Flächen und deren Einteilung in trigonale und hexagonale Flächen, tetragonale, rhombische, deltoide und skalene Flächen folgende Kristallsysteme an, wobei diklin nicht erwähnt wird:

Es gibt daher ein tessularisches, ein hexagonales, ein tetragonales, ein rhombisches, ein deltoide und ein skalenisches Krystallsystem, und jedes derselben umfasst den Inbegriff aller einfachen Gestalten und Combinationen, welche in ihm möglich sind.

Auch TSCHERMAK (1863) verhält sich skeptisch gegenüber dem diklinen System:

Es gibt einige wenige Krystalle, bei denen man 3 Axen anzunehmen hat, wovon eine auf einer anderen senkrecht steht, die dritte ist gegen beide geneigt. Man hat sie dem diklinoëdrischen System zugezählt. Dieses wird indess meist nicht weiter behandelt.

In seinem Lehrbuch ging SCHRAUF (1866) wieder etwas ausführlicher auf ein mögliches diklines System ein:

Aus dem in der ersten Abtheilung erwähnten Grundsatz: dass e i n e r und derselben Substanz e i n e bestimmte Krystallgestalt zukomme, folgt ferner: dass die Neigungen der Axen und die Verhältnisse der Parameter für alle Krystalle derselben Species dieselben sind; die Symbole der Flächen können hingegen verschieden sein.

Eine weitere Consequenz hievon ist, dass die Winkel

$$\xi = YOZ, \eta = XOZ, \zeta = XOY$$

welche die Axen miteinander einschließen und das Verhältnis der Parameter diejenigen Elemente sind, durch welche eine Krystallspecies charakterisiert wird. In manchen Krystallen lässt sich ein rechtwinkeliges Axensystem auffinden, in anderen wieder Axen, deren zwei senkrecht stehen auf einer dritten, in noch anderen schiefwinkelige Axen; ferner variirt nicht bloss die Lage, sondern auch die Grösse der Parameter, und auf diese Unterschiede in den Axenwinkeln und in den relativen Verhältnissen der Parameter hat man die Eintheilung der gesammten Krystalle in genau präcisierte Gruppen vorgenommen.

Es sind diess:

- | | | |
|------|--|--------------------------------|
| I. | $\pm \xi = \pm \eta = \pm \zeta$ | Orthogonale Krystallsysteme. |
| | 1. $a : b : c = A : 1 : C$ | prismatisch, |
| | 2. $a : b : c = \sqrt{3} : 1 : C$ | orthohexagonal, |
| | 3. $a : b : c = 1 : 1 : C$ | pyramidal, |
| | 4. $a : b : c = 1 : 1 : 1$ | tesseral. |
| II. | $(\pm \xi = \pm \zeta) \neq \pm \eta$ | Monoklinisches Krystallsystem. |
| | 5. $a : b : c = A : 1 : C$ | |
| III. | $\pm \xi \neq \pm \eta \neq \pm \zeta$ | Klinische Krystallsysteme. |
| | A) $\pm \zeta = 90^\circ$ | diklinisch. |
| | 6. $a : b : c = A : 1 : C$ | |
| | B) $\pm \zeta \neq 90^\circ$ | triklinisch. |
| | 7. $a : b : c = A : 1 : C$ | |

Nimmt man gleichmässig auf die physikalischen Eigenschaften und geometrischen Symmetrieverhältnisse Rücksicht, so ist die hiermit aufgestellte Eintheilung, welche sich wohl in manchen wesentlichen Punkten von den bisher gewohnten unterscheidet, gewiss die für die Erforschung der stattfindenden Connexe tauglichste.

Erwähnt sei im Zusammenhang mit der vorliegend dargelegten Diskussion bezüglich Kristallklassen und Kristallsysteme eine weitere zeitgenössische Veröffentlichung von LIEBISCH (1881), in der vor allem auf NAUMANN (1830) Bezug genommen wird:

Dass die Naumann'sche Definition: ein Krystallsystem ist der Inbegriff aller möglichen Formen, welche, bei gleicher Zahl und bei demselben allgemeinen Neigungsverhältnissen der Coordinatenebenen, dasselbe Grössenverhältnis der Axen besitzen - nicht zutreffend sein kann, ergibt sich schon daraus, dass nach dieser Begriffsbestimmung das sog. diklinoëdrische Krystallsystem, dessen Formen ebenso wie die des triklinen Systems nur ein Centrum der Symmetrie besitzen, eine selbständige Stellung erhalten müsste. Vgl. über dieses von Mitscherlich, Pogg. Ann. 1826, 8, 427 errichtete System: Naumann, Lehrb. d. Krystallogr. 1830, 2, 95-117.

Im Abschnitt „Krystallographie“ der Geschichte der Mineralogie erwähnt KOBELL (1864) auf Seite 224 die Untersuchungen MITSCHERLICH'S (1826) in einem kurzen Absatz:

Auch das von Mitscherlich am unterschwefligsauren Kalk beobachtete und damals als ein eigenthümliches angesehenes Krystallsystem, zwischen dem klinorhombischen und klinorhomboidischen stehend, wird als diklinoedrisches System darin ausführlich entwickelt und überall die analytische Geometrie angewendet.

Lediglich in einem Absatz zur Kristallkunde, der sich mit der historischen Entwicklung der geometrischen Kristallographie auseinandersetzt, wurde von GROTH (1926) auch auf das „dikline Kristallsystem“ und dessen Nichtrealisierbarkeit wie folgt hingewiesen:

Jeder "Krystallreihe" liegt ein bestimmtes "Achsensystem", charakterisiert durch bestimmte Dimensionen und Winkel der Achsen (d. h. durch die krystallographischen Elemente der Substanz), zugrunde - und alle Krystallreihen mit gleichen Zahl-, Neigungs- und allgemeinen Größenverhältnissen der Achsendimensionen werden zusammengefaßt als "Krystallsystem". Solcher Krystallsysteme werden nun einzeln behandelt die folgenden sieben: 1. Das Tesseral-system, 2. das Tetragonalsystem, 3. das rhombische System, 4. das klinometrische oder das klinorhombische System, 5. das diklinometrische oder klinorhomboidische System, 6. das triklinometrische oder diklinorhomboidische System und 7. das Hexagonalsystem. Von den Abteilungen der WEISS'schen Systematik weicht demnach die NAUMANN'sche nur durch die Einführung des fünften Systems ab, welches als "diklines Krystallsystem" und als auf Achsen mit zwei schiefen und einem rechten Winkel zurückzuführen, vom triklinen, verschieden noch angenommen worden ist, bis durch die richtige Auffassung des Begriffes der Symmetrie allgemein erkannt wurde, daß ein Zwischending zwischen dem monoklinen und dem triklinen Krystallsystem unmöglich sei.

In Tabelle 1 ist, soweit erhebbar, die Nomenklatur für die Kristallsysteme angeführt, wie sie im 19. Jahrhundert unterschiedlichst von den verschiedenen Autoren vorgeschlagen und verwendet wurde.

Kubisch	
I.	Dreigliedrig vieraxiges System
II.	Isometrisches oder Tesseral-System
III.	Isometrie
IV.	Regelmässiges Krystallsystem
V.	Das reguläre (tessulare, tessularische, isometrische) System
VI.	Reguläres System
VII.	Tessularisches Krystallsystem
VIII.	Tesserales Krystallsystem
IX.	Das reguläre oder hexaedrische System
Tetragonal	
I.	Ein- und zweimaassiges System
II.	Monodimetrisches oder Tetragonal-System
III.	Monodimetrie
IV.	Zwei- und einaxiges Krystallsystem
V.	Das quadratische (tetragonale, pyramidale, monodimetrische, zwei= und einaxige, viergliedrige) System
VI.	Viergliedriges System
VII.	Tetragonales Krystallsystem
VIII.	Pyramidales Krystallsystem
IX.	Das quadratische Krystallsystem
Orthorhombisch	
I.	Gleichstellig gleichendig zweifach zweigliedriges System
II.	Anisometrisches oder Rhombisches System
III.	Anisometrie
IV.	Ein- und einaxiges Krystallsystem
V.	Das rhombische (orthotype, holoedrisch=rhombisch=trimetrische, zwei= und zweigliedrige, ein= und einaxige, isoklinische) System
VI.	Zweigliedriges System
VII.	Rhombisches Krystallsystem
VIII.	Prismatisches Krystallsystem
IX.	Das orthotype Krystallsystem
Trigonal/hexagonal	
I.	Ein- und dreimaassiges System
II.	Monotrimetrisches oder Hexagonal-System
III.	Monotrimetrie
IV.	Drei- und einaxiges Krystallsystem
V.	Das hexagonale (rhomboedrische, monotrimetrische, drei= und einaxige, sechsgliedrige oder drei= und dreigliedrige) System
VI.	Sechsgliedriges System
VII.	Hexagonales Krystallsystem
VIII.	Orthohexagonales Krystallsystem
IX.	Das isokline oder rhomboedrische Krystallsystem
Monoklin	
I.	Gerenstellig gleichendig zweifach eingliedriges System
II.	Klinometrisches oder klinorhombisches System
III.	Monoklinometrie
IV.	Zwei- und eingliedriges Krystallsystem
V.	Das monoklinometrische (monoklinoedrische, monoklinische, hemiorthotype, hemiedrisch= rhombisch=trimetrische, zwei= und eingliedrige, klinorhombische, augitische) System
VI.	Zwei- und eingliedriges System
VII.	Monoklinisches Krystallsystem
VIII.	Deltoidisches Krystallsystem
IX.	Das monokline Krystallsystem
Diklin	
I.	----
II.	Diklinometrisches oder klinorhomboidisches System
III.	Diklinometrie
IV.	---
V.	Das diklinometrische (diklinoedrische, diklinische, hemianorthotype) System
VI.	Diklinoedrisches System (in Rammelsberg, 1881 nicht angeführt)
VII.	---
VIII.	Diklinisches Krystallsystem
IX.	Das dikline Krystallsystem
Triklin	
I.	Gerenstellig gleichendig einfach eingliedriges System
II.	Triklinometrisches oder diklinorhomboidisches System
III.	Triklinometrie
IV.	Ein- und eingliedriges Krystallsystem
V.	Das triklinometrische (triklinoedrische, triklinische, anorthotype, tetartoedrisch=rhombisch=trimetrische, ein= und eingliedrige, klinorhomboidische) System
VI.	Eingliedriges System
VII.	Skalenisches Krystallsystem
VIII.	Triklinisches Krystallsystem
IX.	Triklines Krystallsystem

I: Hessel (1830); II: Naumann (1830); III: Ritgen (1833); IV: Geiger (1838); V: Kopp (1849); VI: Rammelsberg (1855); VII: Zippe (1859); VIII: Schrauf (1866); IX: Krejci (1886)

Tabelle 1

Bezeichnungen der Kristallsysteme in der Literatur in den Jahren nach 1830.

Da die Morphologie der den trigonalen, trigonal-rhomboedrischen und hexagonalen Klassen zuordenbaren Kristalle anhand eines gemeinsamen Koordinatensystems (= hexagonales Achsenkreuz) beschreibbar ist, wurden diese ganz allgemein zum Kristallsystem trigonal/hexagonal zusammengefasst.

Das dikline System: Postulation an Hand 3-dimensionaler Parallelepipede durch KREJČI (1886)
 Parallel zur Ableitung der Kristallklassen anhand der Symmetrieeoperationen und den Möglichkeiten ihrer Kombination wurden auch bezüglich der im dreidimensionalen Raum möglichen, von drei Flächenpaaren begrenzten Parallelepipede Überlegungen zur Beschreibung von Kristallsystemen angestellt (auch als hexaidische Typen bezeichnet). An Hand dieser Überlegungen ergaben sich entsprechend den sieben unterschiedlichen Parallelepipeden, die aus den Verzerrungen des Würfels ableitbar sind, sieben Kristallsysteme (vgl. KUPFFER, 1831). Zu den bereits erwähnten Kristallklassen und den zu deren Beschreibung verwendeten Systemen kam derart noch das dikline System (mit 2 Kristallklassen, nämlich mit und ohne Symmetriezentrum) hinzu. Sehr ausführlich wurde die Ableitung der Kristallsysteme, ausgehend von den möglichen Verzerrungen des Würfels, durch KREJČI (1886) beschrieben (Abb. 2):

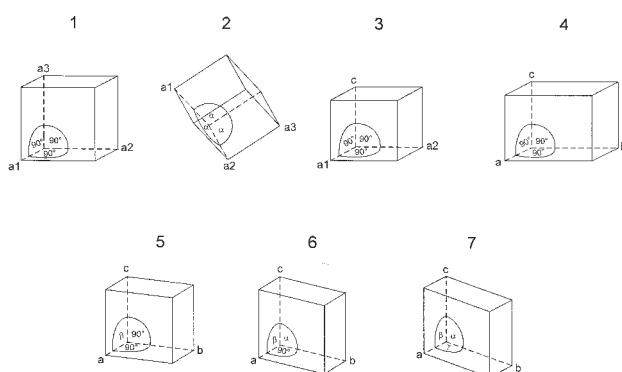


Abb. 2

Darstellung der im Raum möglichen unterschiedlichen Parallelepipede, von KREJČI (1886) auch als hexaidische Typen beschrieben: 1. Regulärer Typus (orthogonal isometrisches Hexaid). 2. Isokliner Typus (isoklin isometrisches Hexaid). 3. Quadratischer Typus (orthogonal dimetrisches Hexaid). 4. Orthotyper Typus (orthogonal trimetrisches Hexaid). 5. Monokliner Typus (einseitig schiefes Hexaid). 6. Dikliner Typus (zweiseitig schiefes Hexaid). 7. Trikliner Typus (dreiseitig schiefes Hexaid).

Es gibt entsprechend den sieben verschiedenen hexaidischen Typen sieben Krystallsysteme, und zwar:

- I. Das reguläre oder hexaedrische Krystallsystem.
- II. Das isokline oder rhomboedrische Krystallsystem.
- III. Das quadratische Krystallsystem.
- IV. Das orthotype Krystallsystem.
- V. Das monokline Krystallsystem.
- VI. Das dikline Krystallsystem.
- VII: Das triklone Krystallsystem.

Das dikline System

Der Typus dieses Systems ist das dikline Hexaid mit den Kanten XX' , ZZ' , die sich je zwei zu 180° ergänzen, während $Y = 90^\circ$ ist. Die ebenen Winkel sind $\alpha \beta \gamma$, $\alpha' \beta' \gamma'$. Die Flächendiagonalen der hexaidischen Flächen sind oo' , ee' , aa' .

Da ein Kantenwinkel des Hexaides, nämlich Y , ein rechter ist, so werden die Beziehungen der ebenen Winkel zu den Kantenwinkeln durch folgende Gleichungen ausgedrückt:

$$\cos \alpha = \cos X / \sin Z, \quad \cos \beta = \cot X \cot Z, \quad \cos \gamma = \cos Z / \sin X.$$

Wäre einer der Winkel $= 90^\circ$, so wäre

für $\alpha = 90^\circ$, $\cos X = -\cos Y \cos Z$;

für $\beta = 90^\circ$, $\cos Y = -\cos X \cos Z$;

für $\gamma = 90^\circ$, $\cos Z = -\cos X \cos Y$;

d. h. für keine der Hexaidkanten wäre der Cosinus = 0, es wäre also keine Hexaidkante rechtwinklig und der Typus eines solchen Hexaides wäre Triklin (siehe Chalkantit).

Wenn man also bei der Definition des Krystallsystemes von den Axen des Hexaides ausgehen würde, so möchte allerdings das dikline System mit dem triklinen coincidieren oder nur einen speciellen Fall desselben darstellen.

Die krystallographische Realität des diklinen Systems ist aber durch den eigenthümlichen Typus seines Grundhexaids erwiesen, indem sich dasselbe von allen anderen Hexaidden unterscheidet. Auch würde in der Reihenfolge der Krystallsysteme eine Lücke entstehen, wenn man das dikline System weglassen möchte. Es sind nämlich, wie schon in der Einleitung erläutert wurde, die klinogonalen Grundhexaide mono-, di-, triklin und unterscheiden sich von einander durch ganz bestimmte Kennzeichen.

Durch Weglassen des diklinen Systems würde also ein selbstständiger Grundtypus der Krystallgestalten, nämlich der dikline ohne allen mathematischen Grund aus der Reihe der Grundhexaide entfernt werden.

Der Umstand, dass der früher als diklin bezeichnete unterschwefelsaure Kalk bei späteren Untersuchungen als triklin nachgewiesen wurde, ist nicht entscheidend, da das mögliche Vorkommen von diklinen Krystallen hiedurch nicht ausgeschlossen ist.

Einige Varietäten des Mikroklin-Feldspates scheinen in der That diesem Systeme anzugehören, indem sie sich auf ein Hexaid beziehen lassen, dessen eine Kante = 90° ist, während die beiden anderen Kanten vom rechten Winkel abweichen.

In einem Kommentar zu diesen Überlegungen zur Ableitung möglicher Kristallsysteme durch Krejci schrieb KATZER (1888):

Die Krystallformen werden aus den Hexaidden abgeleitet und so das dikline Krystallsystem wieder auferweckt, in welchem der unterschwefelsaure Kalk als Beispiel erscheint, der aber bekanntlich triklin ist.

Zusammenfassung

Die unterschiedlichen empirischen Ansichten der Kristallographie bezüglich der Ableitung der Kristallklassen und deren Systeme mussten zwangsläufig zu verschiedenen Ergebnissen führen. Die Kombination der Symmetrieelemente ergab 32 Klassen, beschreibbar an Hand entsprechender Achsensysteme. Der Grundgedanke, die Systeme von den möglichen Verzerrungen eines Hexaeders abzuleiten, musste auch zur Definition eines Parallelepipedes mit den Kantenlängen $a \neq b \neq c$ und α und $\beta \neq 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ führen.

Die von Mitscherlich aufgestellte Hypothese der Existenz eines derartigen diklinometrischen, diklinischen aber auch diklinen Systems wurde in der Fachliteratur des 20. Jahrhunderts in keiner Weise erwähnt. Selbst in Veröffentlichungen mit historischem (teils lexikalischem) Inhalt wird auf diese wissenschaftliche Fehlinterpretation, die aus der Unkenntnis der Symmetrie im atomaren Aufbau der Kristalle entstand, nicht eingegangen (FABIAN, 1986; BURCKHARDT, 1988).

Schlußbemerkungen

Bei der Beschäftigung mit historischen Biographien von Naturwissenschaftlern versucht man naturgemäß, aus den wissenschaftlichen Arbeiten der betreffenden Person vor allem jene Hypothesen herauszuarbeiten, die in späterer Zeit bestätigt werden konnten. Dabei besteht jedoch die Gefahr, jene im vorliegenden Artikel aufgezeigten möglichen anderen Schlüsse, Verfahren oder auch nur Vermutungen zu vernachlässigen oder sogar auszuklammern, die auf Grund des heutigen Wissensstandes entweder nicht bestätigt oder sogar explizit ausgeschlossen werden können.

Eine solche Vorgangsweise ist aus mehreren Gründen als inkorrekt zu bezeichnen: Erstens wird dadurch das verpflichtende Prinzip der vollständigen Erfassung aller vorhandenen Daten nicht erfüllt. Zweitens kann das Werk eines Wissenschafters nur unter dem Überbau seiner experimentellen und apparativen Möglichkeiten und aus dem Kontext seines historischen Umfeldes verstanden werden. Und drittens muss darauf hingewiesen werden, dass in Europa - in der Tradition der griechischen Antike - bis ungefähr Mitte des 20. Jahrhunderts Naturwissenschaftler auch eine fundierte philosophische Ausbildung an den Universitäten absolvieren mussten. Dadurch waren sie naturgemäß sowohl in der dialektischen Ausdifferenzierung der zur Verfügung stehenden Bearbeitungsvarianten eines Themas geschult als auch gewöhnt, sämtliche Möglichkeiten bis an die Grenzen ihres augenblicklichen Wissensstandes immer weiter zu hinterfragen. Daraus resultierte eine mehr oder minder breite Palette von aufgezeigten wissenschaftlichen Wegen, die logischer Weise nicht alle richtig sein konnten, die aber nachfolgenden Generationen an Hand ihres erweiterten Wissensstandes und neuer Technologien erst die Möglichkeit boten, selektiv die richtigen Lösungen heraus zu arbeiten und fundierte Beweise zu erbringen.

Jede Epoche der Naturwissenschaft hat ihre eigenen Ziele, Wege und Möglichkeiten vorgegeben, und sie können auch nur in diesem Rahmen genützt werden. Aber es stellt sich doch die aktuelle Frage, ob es nicht eine negative Ausprägung eines Zeitalters ist, dass kreatives, selbständiges wissenschaftliches Denken, dem sich frühere Generationen selbstverständlich verpflichtet gefühlt haben, vernachlässigt wird.

Dank

Für weiterführende Anregungen und Diskussionen erlaubt sich der Autor den Professoren der Universität Wien Dr. Gerald Giester und Dr. Manfred Wildner seinen herzlichen Dank auszusprechen.

Literatur

BURCKHARDT, J. J. (1984): Die Entdeckung der 32 Kristallklassen durch M. L. Frankenheim im Jahre 1826. - N. Jb. Miner. Mh 1984, 481-482.

BURCKHARDT, J. J. (1988): Die Symmetrie der Kristalle. Von René-Just Haüy zur kristallographischen Schule in Zürich. - Birkhäuser Verlag. Basel, Boston, Berlin.

FABIAN, E. (1986): Die Entdeckung der Kristalle. Der historische Weg der Kristallforschung zur Wissenschaft. - VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

FRANKENHEIM, M. L. (1826): Crystallonomische Aufsätze. - ISIS, enzyklopädische Zeitung von Oken 5 und 6, 497-515 und 542-565.

- FRANKENHEIM, M. L. (1842): System der Krystalle. Ein Versuch. - Druck von Grass, Barth und Comp., Breslau.
- GEIGER, P. L. (1838): Handbuch der Pharmacie zum Gebrauche bei Vorlesungen. Pharmaceutische Mineralogie. - Heidelberg. In der akademischen Verlagshandlung von C. F. Winter. Wien, bei C. Gerold.
- GLOCKER, E. F. (1829): Handbuch der Mineralogie. Erste Abtheilung, die Einleitung in die Mineralogie und die allgemeine Oryktognosie enthaltend. - Nürnberg, 1829. Bei Johann Leonhard Schrag.
- GRAILICH, J. (1856): Lehrbuch der Krystallographie von Professor W. H. Miller. Übersetzt und erweitert. - Wien 1856. Druck und Verlag von Carl Gerold's Sohn.
- GROTH, P. (1926): Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften. - Verlag von Julius Springer. Berlin.
- HASSE, T. L. (1848): Denkschrift zur Erinnerung an die Verdienste des in Dresden am 30. Juni 1817 verstorbenen K. S. Bergrath's Werner und die Fortschritte bei der Bergakademie zu Freiberg. - Dresden und Leipzig 1848. In Commission der Arnoldschen Buchhandlung.
- HAÜY, R. J. (1801): Traite de mineralogie. Tome premier - Tome cinquiene. - Chez Louis, Libraire, Rue de Savoye, Paris.
- HAÜY, R. J. (1822): Traite de cristallographie. Tome premier. Tome second. - Bachelier et Huzard, Paris.
- HESS, E. (1896): J. F. C. Hessel. Zur Säcularfeier seines Geburtstages (27. April 1796). - N. Jb. f. Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. Jg. 1896. 107-122.
- HESSEL, J. F. C. (1830): Krystallographie oder Krystallogonomie und Krystallographie, auf eigenthümliche Weise und mit Zugrundelegung neuer allgemeiner Lehren der reinen Gestaltenkunde, sowie mit vollständiger Berücksichtigung der wichtigsten Arbeiten und Methoden anderer Krystallographen bearbeitet. Leipzig 1831. (Durch Angabe der vielen Druckfehler, Vorrede und Inhaltsverzeichnis vervollständigter Abdruck des 1830 erschienenen Artikels "Krystall" in Gehler's physikalischem Wörterbuche, Band 5, II, 1023-1340.)
- KATZER, F. (1888): Johann Krejci: Elemente der mathematischen Krystallographie in neuer leichtfasslicher Darstellung. - N. Jb. f. Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. Jg. 1888. 196-197.
- KOBELL, F. v. (1864): Geschichte der Mineralogie. Von 1650-1860. - Literarisch=artistische Anstalt der J. G. Cotta'schen Buchhandlung. München.
- KOPP, H. (1849): Einleitung in die Krystallographie und in die krystallographische Kenntniß der wichtigeren Substanzen. - Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn. Braunschweig.
- KREJČI, J. (1886): Elemente der mathematischen Krystallographie in neuer leichtfasslicher Darstellung. - Hrsg.: Friedrich Katzer. Druck Dr. Ed. Greg. Selbstverlag, Prag 1886.
- KUPFFER, A. T. (1831): Handbuch der rechnenden Krystallogonomie. - Buchdruckerei der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, St. Petersburg.
- LIEBISCH, T. (1881): Geometrische Krystallographie. - Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- MINNIGERODE, B. (1887): Untersuchungen über die Symmetrieverhältnisse der Krystalle. - N. Jb. Miner., Beilagebd. 5, 145-166. (Referiert und kommentiert von J. Beckenkamp in Z. Krist. 15, 516-520).
- MITSCHERLICH, E. (1826): Ueber eine neue Klasse von Krystallformen. - Annal. d. Physik, 84, 427-442.
- MOHS, F. (1822): Grundriß der Mineralogie. Erster Theil. Terminologie, Systematik, Nomenklatur, Charakteristik. - Dresden 1822. In der Arnoldschen Buchhandlung.
- MOHS, F. (1824): Grundriß der Mineralogie. Zweiter Theil. Physiographie. - Dresden 1824. In der Arnoldschen Buchhandlung.
- NAUMANN, C. F. (1824): Über plagiobasische Krystallssysteme. - Isis, oder Enzyklopädische Zeitung. (Hrsgb. Oken) 9, 954-959.
- NAUMANN, C. F. (1826): Grundriss der Krystallographie. - Verlag von Johann Ambrosius Barth. Leipzig.
- NAUMANN, C. F. (1830): Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie. - Band I. Leipzig: F. A. Brockhaus.
- NAUMANN, C. F. (1856): Elemente der theoretischen Krystallographie. - Leipzig 1856. Verlag von Wilhelm Engelmann.

- PHILLIPS, W. (1852): An elementary introduction to mineralogy. New edition with extensive alterations and additions.- Hrsgb.: Brooke, H. J. & Miller W. H. London 1852. Longman, Brown, Green, and Longmans.
- RAMMELSBURG, C. F. (1855): Handbuch der krystallographischen Chemie. - Verlag von P. Jeanrenaud (A. Foerster' sche Buchhandlung). Berlin, 1855.
- RAMMELSBURG, C. F. (1881): Handbuch der krystallographisch-physikalischen Chemie. - Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- RITGEN, F. A. v. (1833): Über den Einfluss der verschiedenen Achsen auf die Krystallgestalt und über eine, diesem Einfluss entsprechende Bezeichnung. - N. Jb. Miner. Geogn. Geol. u. Petrefaktenkunde, Jg 1833, 266-308.
- ROSE, G. (1823): Ueber den Feldspath, Albit, Labrador und Anorthit. - Annal. d. Physik, 73, 173-208.
- SCHRAUF, A. (1866): Lehrbuch der physikalischen Mineralogie. I. Band. Lehrbuch der Krystallographie und Mineral-Morphologie. Handbuch zum Studium der theoretischen Chemie, Mineralogie und Krystallophysik. - Wilhelm Braumüller, k.k. Hof- und Universitätsbuchhändler, Wien 1866.
- SOHNCKE, L. (1891): Die Entdeckung des Eintheilungsprincips der Krystalle durch J. F. C. Hessel. Eine historische Studie. - Z. Krist. 18, 486-498.
- TSCHERMAK, G. (1863): Grundriss der Mineralogie für Schulen. - Wien 1863. Wilhelm Braumüller. K. K. Hofbuchhändler.
- WEISS, C. S. (1804): Coup d'œil dynamique sur la cristallisation. - Annal. De Chemie 52, 308-339.
- WEISS, C. S. (1809): De indagando formarum crystallinarum caractere geometrico principali dissertatio. Lipsiae 1809. - Dissertation, Universität Leipzig
- WEISS, C. S. (1815): Ueber die natürlichen Abtheilungen der Crystallisations Systeme. - Abhandl. k. Akad. Wiss., Berlin 1814-1815, 290-336.
- WEISS, C. S. (1825): Ueber die Verhältnisse in den Dimensionen der Crystallsysteme, und insbesondere des Quarzes, des Feldspathes, der Hornblende, des Augits und des Epidots. - Abhandl. k. Akad. Wiss., Berlin 1825, 163-200.
- ZIPPE, F. X. M. (1859): Lehrbuch der Mineralogie mit Naturhistorischer Grundlage. - Wilhelm Braumüller, k.k. Hofbuchhändler, Wien 1859.

Eingegangen am 7.12.2005

Angenommen am 10.1.2006