

Teil 1 Kristalluntersuchung mit dem Reflexionsgoniometer

Einleitung

Der regelmäßige innere Bau eines Kristalls als eine gitterhafte Struktur findet seinen Ausdruck in der äußeren morphologischen Form. Auffällig, und auch ansprechend, sind Kristalle insbesondere dann, wenn sie gut ausgebildete ebene Wachstumsflächen zeigen. Allerdings bildet sich beim natürlichen Wachstum und auch bei künstlich gezüchteten Kristallen nur selten ein vollkommen regelmäßig begrenzter, sog. idiomorpher Körper aus. Im Allgemeinen sind nicht alle Flächen vollständig ausgebildet und die Größe der Kristallflächen kann sehr unterschiedlich sein. Verwachsungen oder Zwillingbildungen führen weiter zu einer Verfremdung der Morphologie. Trotz der unterschiedlichen Ausbildung der Größe der Flächen bei Kristallindividuen bleibt die Orientierung einer Fläche erhalten. Wenn die Flächen über die Richtungen ihrer Flächennormalen beschrieben werden, so folgt daraus, dass die Winkelbeziehungen zwischen den Flächennormalen bei einer Kristallart invariant sind. Der dänische Naturwissenschaftler Niels Stensen (Nicolaus Steno) hat dies bereits 1669 erkannt und daraus das fundamentale Gesetz der Winkelkonstanz abgeleitet.

Die Winkelbeziehungen zwischen den morphologischen Flächen eines Kristallpolyeders werden im ersten Teil des Versuchs mittels eines Reflexionsgoniometers (mit sichtbarem Licht) bestimmt. Eine quantitative Darstellung als Stereogramm im Wulff'schen Netz dient der Bestimmung der Punktgruppensymmetrie des Polyeders. Die Symmetrieelemente des Stereogramms erlauben es, das geeignete Koordinatensystem zu wählen, und mittels der Achsenabschnittsgleichung lassen sich wesentliche Erkenntnisse zur Gittermetrik ableiten.

Bei den röntgenographischen Untersuchungen im zweiten Teil des Versuchs wird der Kristall bezüglich seines inneren Aufbaus durch die Beugung an Netzebenenachsen vermessen. Auf Grund der Reflexionsbedingung für die Braggstreuung (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) kann man auch von einer Spiegelung der Röntgenstrahlen an inneren Ebenen sprechen und die Winkelbeziehungen zwischen den Flächennormalen der inneren Ebenen spielen nun eine fundamentale Rolle. Dies ist wesentlich für die Bestimmung der Symmetrie der Raumgruppe. Da man zusätzlich Braggintensitäten auswertet, kann die Raumgruppe vollständig bestimmt werden. Weiterhin ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlung bekannt, so dass die Metrik nun vollständig bestimmt werden kann.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Kristallpräparation

Für die Vermessung eines Kristalls mit dem Reflexionsgoniometer (und anschließender röntgenographischen Untersuchung), muss zuerst ein repräsentatives Exemplar gewählt werden. Hierzu betrachtet man die Kristalle unter einem Stereomikroskop.

Die Auswahl orientiert sich an folgenden Gesichtspunkten:

- *Typische Form:* Unter den verschiedenen Individuen einer Kristallprobe zeichnet sich eine äußere Form (rautenförmig, dreieckig etc.) durch ihre Häufigkeit aus. Die Wahl des repräsentativen Exemplars sollte dieser "typischen Form" folgen.
- *Verwachsung:* Beim Wachstum ohne Keimvorgabe kann es vorkommen, dass zwei zunächst getrennte Kristalle so nahe beieinander liegen, dass sie im Verlaufe ihres Wachstums aneinander stoßen und als ein Agglomerat weiter wachsen. Von solchen Individuen sollte man Abstand nehmen.
- *Verzwilligung:* Durch Kristallbaufehler kann es vorkommen, dass zwei Kristalle in einer wohl definierten Richtungsbeziehung zu einander als eine Einheit wachsen. Diese so genannten Zwillinge erkennt man an einspringenden Ecken, die bei einem normal gewachsenen Kristall nicht auftreten. Zwillinge sollte man vermeiden da sie bei der Röntgenbeugung zu zwei gegeneinander verkippten Beugungsmustern führen.
- *Optische Reinheit:* Bei transparenten Kristallsorten ist darauf zu achten, dass der gewählte Kristall optisch klar ist. Eine milchige Trübung weist auf Störungen im Kristallgitter hin (z.B.. Lufteinschlüsse oder Verunreinigungen in der Größe der Wellenlänge des sichtbaren Lichts).
- *Kleine Kristalle:* Im Allgemeinen sind kleine Kristalle mit einer Größe von weniger als 1 mm für die Untersuchungen zu bevorzugen. Zum einen sollte der Röntgenstrahl ($\varnothing \approx 0,8 \text{ mm}$) den gesamten Kristall überdecken, um Absorptionseffekte zu vermeiden, und zum anderen nimmt mit der Größe die Wahrscheinlichkeit für Kristalldefekte zu.
- *Glatte Flächen:* Gelegentlich treten an Kristallen sog. Vizinalflächen auf. Diese sind terrassenförmig aus zueinander leicht verkippten Flächen aufgebaut. Jede dieser verkippten Flächen besitzt eine andere Orientie-

zung der Flächennormalen (und damit auch Reflexionsstellung), wodurch das Auffinden der "richtigen" Reflexionsstellung erschwert wird.

Der Kristall wird mittels Schellack oder eines Schnellklebers an einen Glasfaden geklebt (vor allem für die röntgenographische Untersuchung notwendig) und auf einem Goniometerkopf befestigt. Für die spätere Bestimmung der Symmetrieelemente ist es hilfreich, die morphologische Form des Kristalls zu skizzieren und sich Flächen, die paarweise oder auch in Gruppen ähnlich sind (Form, Größe), zu vermerken.

2.2 Das Zweikreisgoniometer

Abbildung 1 stellt die Prinzipskizze eines Zweikreis-Reflexionsgoniometers dar, und das Photo zeigt das Praktikumsgerät. Der auf einem Goniometerkopf G aufgesetzte Kristall K (siehe auch Abbildung 2) kann zunächst mit einem Mikroskop beobachtet werden, und eine Kristallfläche wird in etwa in Reflexionsstellung gebracht. Zur Feinjustierung nützt man ein von Q ausgehendes paralleles Lichtbündel. Halbiert die Normale einer Kristallfläche den Winkel zwischen dem auftreffenden Lichtbündel und der Richtung des Beobachtungsfernrohrs (O), so befindet sich der Kristall in Reflexionsstellung. Abhängig von der optischen Qualität der Kristallfläche kann dies als ein sehr heller Lichtreflex beobachtet werden. Um die Winkel der Reflexionsstellungen für alle Flächen bestimmen zu können, befindet sich der Kristall im Schnittpunkt zweier aufeinander senkrecht stehenden Drehachsen. Im Tisch des Geräts ist der Drehkreis D_ρ eingesenkt, mit dem der Kristall um eine vertikale Achse drehbar ist. Auf der zugeordneten Skala der Kreisscheibe ist der Winkel ρ (Poldistanz) ablesbar. Der Drehkreis D_ρ ist über einen Arm H mit einem zweiten Drehkreis D_ϕ mit horizontaler Drehachse verbunden, auf dem der Azimutwinkel ϕ einstellbar ist. Beide Drehkreise haben seitlich einen Drehknopf mit Feintrieb (F). Sofern der Antrieb über die gegenüberliegende Schraube (R) in den Kreis eingerastet wurde, kann der Winkel in hundertstel Gradschritten bewegt und abgelesen werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Reflexionsstellung ist vor der Lampe eine kreuzförmige Blende angebracht, auf die durch eine im Fernrohr (O) eingebaute Zusatzoptik (wird über einen kleinen Drehknopf (Z) seitlich am Fernrohr ein- und ausgeblendet) fokussiert wird. Ist die Normale einer Polyederfläche richtig orientiert, so bildet der Kristall das Kreuz in die Mitte des Okulars (O) ab. Durch kombinierte Drehung um D_ρ und D_ϕ kann jede Kristallfläche in Reflexionsstellung gebracht werden. Damit ist jeder Fläche ein Winkelpaar (ϕ , ρ) zugeordnet.

Befestigen Sie den Goniometerkopf mit seinem Kristall auf dem Reflexionsgoniometer (Vorsicht, den Kristall nicht verlieren!). Durch die gekreuzten Kipp- (K) und Translationsmechanismen (T) des Goniometerkopfes (Abbildung 2) lassen sich ausgeprägte Kristallkanten parallel zur Drehachse D_ϕ des Reflexionsgoniometers justieren. Es empfiehlt sich, eine makroskopisch erkennbare wichtige Zonenachse (ausgeprägte Kanten) entlang der Drehachse D_ϕ (Goniometerkopfachse) auszurichten. Dies erleichtert wesentlich das Auffinden der Flächennormalen und erspart unter Umständen ein Wälzen der stereographischen Projektion um die Symmetrie zu erkennen.

Die (ϕ , ρ)-Winkelpaare aller Flächennormalen können nun bestimmt werden.

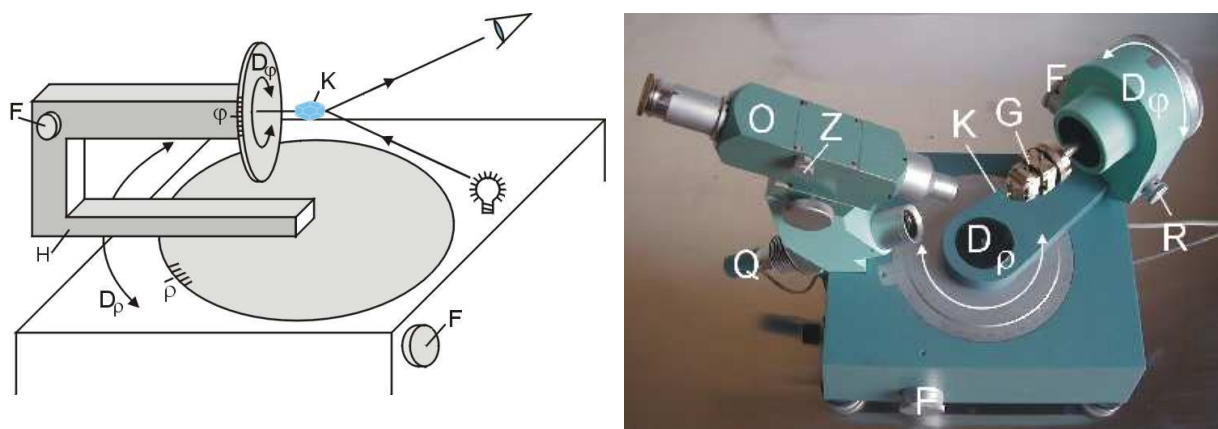


Abbildung 1: Prinzipskizze (links) und Photo (rechts) eines Zweikreisgoniometers. F: Feintrieb, G: Goniometerkopf, K: Kristall, O: Okular/Fernrohr, Q: Lichtquelle, R: Einraster für Feintrieb, D_ϕ , ρ : Drehkreise, Z: Einraster für Zusatzoptik.



Abbildung 2: Goniometerkopf mit Glasfaden und aufgeklebtem Kristall. K: gekreuzte Eulerwiegen, T: gekreuzte Translationsschlitten.

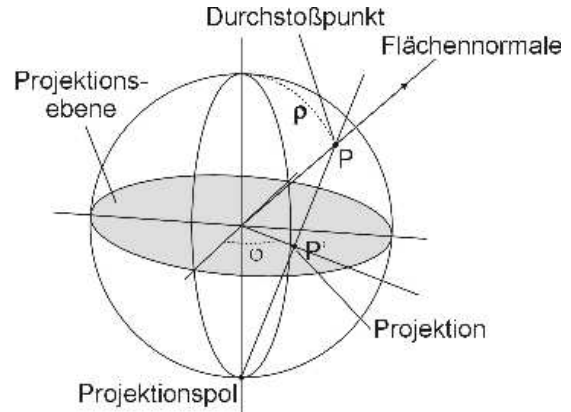


Abbildung 3: Veranschaulichung der stereographischen Projektion.

3 Auswertung

3.1 Stereographische Projektion und Wulff'sches Netz

Eine übersichtliche Darstellung der Winkelbeziehungen zwischen den Flächennormalen erhält man durch die stereographische Projektion. Das Konstruktionsprinzip ist in Abb. 3 gezeigt. Man stellt den Kristall in den Mittelpunkt einer Einheitskugel. Der Durchstoßpunkt einer Flächennormale P wird mit dem Pol der gegenüberliegenden Hemisphäre als Projektionspol verbunden. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Äquatorebene P' ist die Projektion von P .

Die stereographische Projektion ist eine winkeltreue (konforme) und kreisverwandte Abbildung der Kugeloberfläche in eine Ebene. Für eine quantitative Darstellung der Winkelbeziehungen der Flächennormalen als ein Stereogramm dient das Wulff'sche Netz (Abbildung 4). Es entsteht durch eine stereographische Projektion des Systems der Längen- und Breitenkreise der Einheitskugel. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten: wenn der N-Pol und S-Pol des Koordinatensystems der Kugeloberfläche mit den Polen der stereographischen Projektion zusammenfallen, so erhält man das Polarnetz (Kartographie). Wenn dagegen wie in Abbildung 4 die Pole N' und S' bezüglich des Projektionspunktes in der Äquatorebene liegen, so erhält man das Wulff'sche Netz (Kristallographie).

Für die gemessenen (φ, ρ) -Werte kann mittels des Wulff'schen Netzes ein Stereogramm des Kristallpolyeders erstellt werden. Hierzu legt man ein Transparentpapier auf ein Wulff'sches Netz und markiert für den Nullpunkt des Azimutwinkels φ den Schnittpunkt des Äquatorkreises mit der Linie $E'W'$. Zum Eintragen der Flächenpole wird das Transparentpapier um den Mittelpunkt des Wulff'schen Netzes um den Azimutwinkel φ gedreht und anschließend von der Mitte der Linie $E'W'$ die Poldistanz ρ abgetragen.

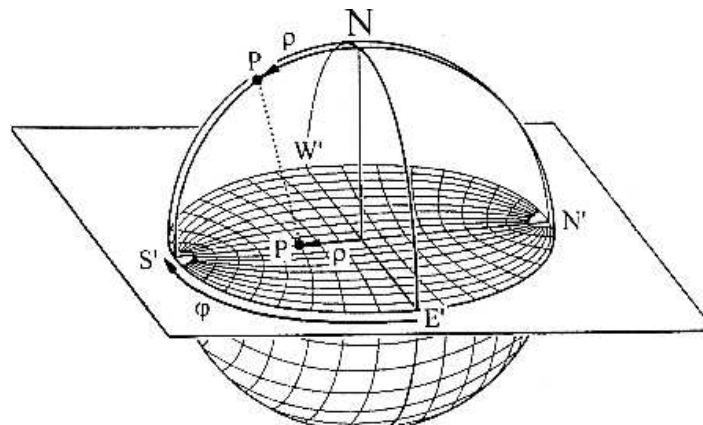


Abbildung 4: Längen- und Breitennetz einer Kugel und das Wulff'sche Netz.

3.2 Bestimmung des geeigneten Koordinatensystem

Nach dem Einzeichnen aller Flächenpole kann ausgehend von wesentlichen Zonen und symmetriebegabten Richtungen ein Koordinatensystem mit einer geeigneten Basis gewählt werden. Dazu betrachtet man im Stereogramm die Punktsymmetrie des Kristallpolyeders. Als Symmetrieelemente werden Drehachsen (1-zählig, 2-zählig, 3-zählig, 4-zählig und 6-zählig) und die entsprechenden Drehinversionsachsen (einschließlich des Inversionszentrums $\bar{1}$ und der Spiegelebene m) betrachtet. Man beachte, dass im Stereogramm nur die Symmetrieelemente, die durch den Kugelmittelpunkt und den Projektionspunkt verlaufen korrekt wiedergegeben werden. Anderenfalls ist die Projektion zu wälzen.

Kristallsystem	Kurzbeschreibung	Symmetrieelemente für Holoedrie			Achsenkreuz	Achsenverhältnis
		1. Richtg	2. Richtg	3. Richtg		
triklin (anorthisch) (a)	Keine Richtung trägt Symmetrieelemente	$[\bar{1}]$			a,b,c α,β,γ	a/b : 1: c/b
monoklin (m)	Eine 2-zählige DrA u/o SpE	$\langle 010 \rangle$ 2/m			a,b,c $\alpha=\gamma=90^\circ$, $\beta \geq 90^\circ$	a/b : 1: c/b
orthorhombisch (o)	Nur 2-zählige DrA u/o SpE, mindestens in zwei Richtungen	$\langle 100 \rangle$ 2/m	$\langle 010 \rangle$ 2/m	$\langle 001 \rangle$ 2/m	a,b,c $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	a/b : 1: c/b
tetragonal (t)	Nur eine 4-zählige DrA	$\langle 001 \rangle$ 4/m	$\langle 100 \rangle$ 2/m	$\langle 1\bar{1}0 \rangle^1$ 2/m	a=b,c $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	c/a
trigonal *) rhomboedrisch (hR)	Nur eine 3-zählige DrA	$\langle 001 \rangle$ $\bar{3}$	$\langle 100 \rangle$ 2/m		a=b≠c $\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$	c/a
hexagonal (h)	Eine 6-zählige DrA	$\langle 001 \rangle$ 6/m	$\langle 100 \rangle$ 2/m	$\langle 1\bar{1}0 \rangle^2$ 2/m		c/a
kubisch (c)	Mindestens zwei 3-zählige DrA	$\langle 001 \rangle$ 4/m	$\langle 111 \rangle^3$ $\bar{3}$	$\langle 110 \rangle^1$ 2/m	a=b=c $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	1

DrA = Drehachse, SpE = Spiegelebene, u/o = und / oder

¹ Richtung der $\bar{a}\bar{b}$ -Flächendiagonale

² Richtung der $2\bar{a}\bar{b}$ -Flächendiagonale

³ Richtung der Raumdiagonale

*) **Nota:** Das trigonale Kristallsystem: als Achsensystem wird entweder ein hexagonales System (wie beim hexagonalen Kristallsystem, allerdings ein zentriertes Gitter mit 3 Gitterpunkten) oder ein rhomboedrisches Achsensystem mit a=b=c, $\alpha=\beta=\gamma$ (primitives Gitter) benutzt.

Tabelle 1: Die sieben kristallographischen Koordinatensysteme

Gekennzeichnet durch Symmetrieelemente in Achsenrichtungen gibt es sechs Kristallsysteme. Ein weiteres Kristallsystem (triklin) zeigt - eventuell mit Ausnahme des Inversionszentrums - kein Symmetrieelement. Damit gibt es insgesamt sieben Kristallsysteme. Diese sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Man betrachtet die Symmetrieelemente in maximal drei - nicht symmetrieäquivalenten - Raumrichtungen, den so genannten Blickrichtungen. Die Symmetrieelemente in den Blickrichtungen werden durch eine Zahl entsprechend ihrer Zähligkeit (2, 3, 4, 6) angegeben. Eine gestrichene Zahl bedeutet eine Drehinversionsachse entsprechender Zähligkeit ($\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{6}$). Die Drehinversionsachse $\bar{2}$ entspricht einer Spiegelebene und wird durch m gekennzeichnet. Treten in einer Blickrichtung eine Drehachse und die Normale einer Spiegelebene gleichzeitig auf, so wird dies z. B. bei einer zweizähligen Drehachse durch das Symbol 2/m dargestellt.

Die Symmetrieelemente entlang bestimmter Richtungen legen also das Kristallsystem fest (kristalleigene Koordinatenachsen). Die Symmetrieelemente können innerhalb eines Kristallsystems unterschiedlich ausgebildet

sein. Tritt die höchstmögliche Symmetrie auf, die auch in Tabelle 1 dargestellt ist, so nennt man sie die Vollform des Kristallsystems (Holoedrie). Andernfalls spricht man von Untergruppen (Meroedrien) eines Kristallsystems. Eine vollständige Liste der damit möglichen 32 Punktgruppen (Punktsymmetrien, Kristallklassen) ist in Tabelle 2 dargestellt. Da die Holoedrie z. T. überbestimmt ist, kann an Stelle des Vollsymbols auch ein gekürztes Symbol (in Klammern) verwendet werden.

Beispiele:

1) Das Achsenkreuz des triklinen Kristallsystem ist mit den Symmetrieelementen $\bar{1}$ und 1 kompatibel. Zusätzliche Symmetrieelemente führen sofort zu einem Achsenkreuz höherer Symmetrie. Die Holoedrie im triklinen Achsenkreuz ist also mit $\bar{1}$ gegeben. Dies bedeutet, dass der Kristall von Paaren paralleler Flächen begrenzt ist. Damit gibt es im triklinen System zwei Gruppen oder Klassen von Kristallpolyedern, die sich durch parallele Flächen (Pinakoid) und nicht-parallele Flächen (Pedion) unterscheiden, je nach Vorhandensein oder Fehlen eines Inversionszentrums.

2) Das monokline Kristallsystem hat in seiner Vollform in einer Richtung das Symmetrieelement 2/m. Diese Richtung wird durch Konvention als die b-Achse des Koordinatensystems bezeichnet. Treten die Symmetrieelemente 2 oder m in nur einer Richtung auf, so ist ebenfalls das monokline Achsenkreuz zu verwenden. Das monokline System zerfällt also in drei Gruppen mit den Symmetrieelementen 2/m, 2 oder m in der b-Richtung.

3) Besitzt ein Polyeder eine zweizählige und eine dreizählige Drehachse, die nicht senkrecht auf der zweizähligen Achse steht, so ist das kubische Koordinatensystem zu verwenden (niedrigst symmetrische Punktgruppe im kubischen System). Die zweizählige Achse wird als a-Achse bezeichnet, die dreizählige Achse zeigt in Richtung der Raumdiagonalen.

Kristallsystem	Punktgruppen	
	Holoedrie gekürzte Symbole in ()	Untergruppen
triklin	$\bar{1}$	1
monoklin	2/m	m, 2
orthorhombisch	2/m2/m2/m	(mmm) mm2, 222
tetragonal	4/m2/m2/m	(4/mmm) $\bar{4} 2m, 4mm, 422, 4/m, \bar{4}, 4$
trigonal/rhomboedrisch	$\bar{3} 2/m$	($\bar{3} m$) 3m, 32, $\bar{3}, 3$
hexagonal	6/m2/m2/m	(6/mmm) $\bar{6} m2, 6mm, 622, 6/m, \bar{6}, 6$
kubisch	4/m $\bar{3} 2/m$	(m $\bar{3} m$) $\bar{4} 3m, 432, 2/m \bar{3} (m \bar{3}), 23$

Tabelle 2 Die 32 kristallographischen Punktgruppen

3.3 Achsenverhältnis

Als ersten Schritt bei der Indizierung stellt man den Typ einer Fläche fest. Hat eine Fläche keinen Schnittpunkt mit einer Koordinatenachse, so ist der zugehörige Millersche Index null (wird beispielsweise die b-Achse nicht geschnitten, so ist die Fläche vom Typ (h0l)). Für Flächen mit Normalen entlang der Basisachsen ergibt sich bereits die vollständige Indizierung. Alle hierdurch nicht bestimmbar sind, können durch Aufstellen der Achsenabschnittsgleichung

$$h:k:l = a \cos(\varphi_a) : b \cos(\varphi_b) : c \cos(\varphi_c) \quad (1)$$

ermittelt werden. Sie verknüpft die Millerschen Indizes hkl einer Fläche mit deren Achsenabschnitten, d. h. mit den Schnittpunkten der Ebene mit den Basisvektoren eines Symmetrie angepassten Koordinatensystems. φ_a , φ_b und φ_c bezeichnen die Winkel, die die jeweilige Flächennormale mit den Achsen der Basis einschließt. Sie sind noch in geeigneter Weise mit den Winkeln φ und ρ zu verknüpfen. Ebenso sind noch die metrischen Parameter a, b und c als Längen der Einheitsachsen festzulegen. Da durch Gleichung (1) nur Verhältnisse bestimmbar sind, setzt man $b = 1$ (internationale Konvention). Zur Bestimmung von a und c sucht man nach Möglichkeit nach dem Vorhandensein einer Fläche mit Millerschen Indizes $h=k=l=1$. Kommt eine derartige Fläche nicht vor, so müssen zwei Flächen speziellerer Lage (z. B. eine (hk0) und eine (0kl) Fläche) herangezogen werden, bei denen die beiden verbleibenden Indizes zu 1 gewählt werden. Aus der Achsenabschnittsgleichung (1) ergibt sich damit:

$$\frac{h}{k} = \frac{a \cos \varphi_a}{1 \cdot \cos \varphi_b} \Leftrightarrow a = \frac{h \cos \varphi_b}{k \cos \varphi_a} = \frac{\cos \varphi_b}{\cos \varphi_a}$$

$$\text{bzw. } c = \frac{l \cos \varphi_b}{k \cos \varphi_c} = \frac{\cos \varphi_b}{\cos \varphi_c} .$$

Die Relationen zwischen den Winkeln φ_a , φ_b und φ_c der Flächennormalen und den gemessenen Winkeln φ , ρ lässt sich über den sphärischen Pythagoras (der Kosinus der Hypotenuse ist gleich dem Produkt der Kosinuswerte der Katheten) für rechtwinklige sphärische Dreiecke herstellen. Abb. 5 veranschaulicht die Zusammenhänge am Beispiel des monoklinen Sonderfalls. Aus der Betrachtung des Dreiecks ① läßt sich der Ausdruck

$$\cos \alpha = \cos (90^\circ - \rho) \cdot \cos \varphi' = \sin \rho \cdot \cos \varphi' \quad (4)$$

und von Dreiecks ② der Ausdruck

$$\cos \beta = \cos (90^\circ - \rho) \cdot \cos (\omega - \varphi') = \sin \rho \cdot \cos (\omega - \varphi') \quad (5)$$

erhalten. Der Winkel γ stimmt mit dem Winkel ρ überein. Es ist zu beachten, daß sich φ' von φ um den Winkel der a-Achse aus Sicht von φ unterscheidet, d.h. von den φ -Werten der Flächen ist stets der konstante φ -Betrag der a-Achse abzuziehen. Der Winkel ω zwischen den Koordinatenachsen ist von der Basiswahl abhängig und leicht bestimmbar. Insgesamt erhält man somit für die Basislängen des Kristallsystems:

$$a = \frac{\cos(\omega - \varphi')}{\cos \varphi'}$$

$$c = \frac{\sin \rho \cdot \cos(\omega - \varphi')}{\cos \rho} .$$

Mit den Werten für a und c, sowie den Gleichungen (4), (5) und $\gamma = \rho$ lassen sich für jede Fläche das Verhältnis von h : k und von k : l berechnen und daraus die Millerschen Indizes erschließen.

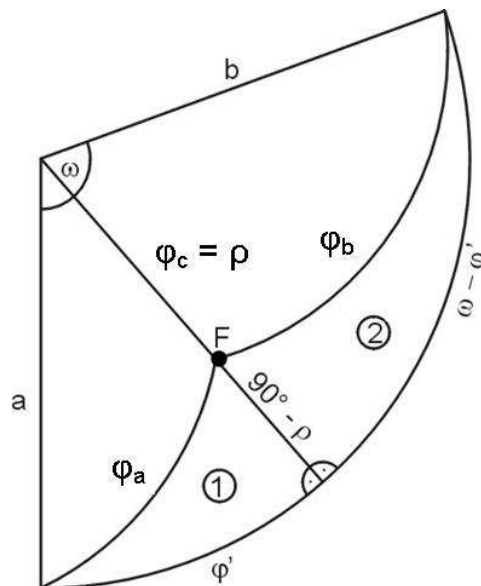


Abbildung 5: Zur Berechnung der Achsenabschnitte.

Aufgaben (Zusammenfassung)

- Suchen Sie sich unter dem Stereomikroskop einen geeigneten Kristall aus. Skizzieren Sie die morphologische Form des Kristalls.
- Fixieren Sie ihn auf einem Goniometerkopf.
- Machen sie sich mit den verschiedenen mechanischen Vorrichtungen des Reflexionsgoniometers vertraut.
- Vermessen Sie die (φ , ρ)-Winkelpaare für möglichst alle Flächen des Kristall.
- Erstellen sie eine Skizze des Kristalls, aus der die Zuordnung der Winkelwerte zu den Flächen hervorgeht.
- Fertigen Sie eine stereographische Projektion der Flächennormalen des Kristalls unter Verwendung eines Wulffschen Netzes an.
- Kennzeichnen Sie Zonen und deren Pole.
- Ermitteln Sie aus der stereographischen Projektion die Symmetrieelemente des Kristalls und damit die Kristallklasse (geeignete Koordinatensystem). Gegebenenfalls ist die stereographische Projektion zu wälzen.
- Treffen Sie ausgehend von wesentlichen Zonen eine Basiswahl und bestimmen Sie das Achsenverhältnis $a:1:c$ und die Millerschen Indizes aller Flächen.

Literatur

- Kleber, Bautsch, Bohm, Einführung in die Kristallographie, 18. Auflage, Oldenburg Verlag, 2003, ISBN 3-486-27319-1
-
- Borchardt-Ott, Einführung in die Kristallographie, 5. Auflage (1997), Springer Verlag
-
- D. Schwarzenbach, Kristallographie, Springer Verlag, 2001, ISBN 3-540-67114-5
-
- Burzlaff und Zimmermann, Kristallsymmetrie, Kristallstruktur, 2. Auflage (1993), Verlag Rudolf Merkel Universitätsbuchhandlung