

XVII. Bemerkungen über krumme Krystallflächen.

Von F. Becke.

Im Anschluß an die vorangehende Beschreibung der Brüxer Whewellitkrystalle ist es vielleicht erlaubt, einige Bemerkungen über krumme Krystallflächen überhaupt anzufügen. Die Erscheinung ist bei den Krystallen zu häufig, anderseits in zu grellem Widerspruch mit der von jeder Theorie der Krystalle geforderten Eigenschaft der Krystallflächen als Ebenen, als daß nicht schon die ältesten Beobachter genötigt gewesen wären, sich mit dieser Unvollkommenheit auseinanderzusetzen.

Ich möchte aber gleich zu Anfang feststellen, wie hier der Ausdruck krumme Krystallflächen gemeint ist. Auszuschalten sind zunächst jene Fälle, wo die Krümmung der Oberfläche nur der Ausdruck einer nicht vollkommen parallelen Lagerung der Krystallteile ist.

1. Hierher gehören die hypoparallelen Fortwachsungen und Gruppierungen der Krystalle, bei denen die scheinbar gekrümmten Krystallflächen sich häufig als diskontinuierlich zusammengesetzt erweisen, indem ebene Facetten hypoparallel gestellte Krystallteile nach außen abschließen. Die Zahl der hierher gehörigen Gebilde ist sehr groß. Manche folgen angebbaren krystallographischen Gesetzen (Vizinalzwillinge, Tschermak). Hierher gehören die gewundenen Bergkrystalle, die Eisenrosen, die Krystalle von Desmin und Prehmit, welche Übergänge zu büschelförmigen Aggregaten darstellen, die sattelförmigen Rhomboeder von Braunspat und Eisenspat u. a. Die

Erscheinung kann man in betreff der Krystallflächen als hypoparallele Krümmung bezeichnen.

2. Eine zweite Gruppe bilden die mechanisch verbogenen Krystallflächen. Oft stehen sie mit der Erscheinung der Translation in Zusammenhang. Hier haben wir es wirklich mit kontinuierlich gekrümmten Flächen zu tun. Je nach der Beziehung zur Ebene und Richtung der Translation kommen zylindrisch oder konisch verbogene Flächen vor. Mügge hat diese Beziehungen sehr eingehend und klar auseinandergesetzt. Gyps, Antimonit sind bekannte Beispiele.

Die folgenden Kategorien unterscheiden sich von den bisher besprochenen durch die Einheitlichkeit und Homogenität des Krystalls, an dem die krummen Flächen auftreten. Hier sind zunächst auszuschneiden:

3. Krumme Präerosionsflächen, die durch nachträgliche Auflösung entstehen. Sie können wohl häufig durch Begleiterscheinungen: Ätzfiguren, Krystalldamast erkannt werden. Beispiele liefern Quarz, Kalkspat, Beryll, Topas und viele andere Minerale.

Ich möchte endlich auch noch ausscheiden:

4. Krumme Scheinflächen, die durch Kombinationsriefung zwischen typischen Krystallflächen entstehen. Die Prismenzone mancher Krystalle zeigt solche krumme Scheinflächen nicht selten. Beryll und Turmalin nennt schon der alte Naumann.¹⁾ Eisenglanz bietet in dem Zonenstück $[10\bar{1}1. 10\bar{1}4]$ oft solche Scheinflächen, denen eigentlich eine geschlossene Oberfläche nicht zukommt, sondern die durch abwechselnde Streifen zweier typischer Flächen der Zone entstehen.

Diese Kategorie ist wohl nicht ganz scharf getrennt von der letzten, die uns hier am meisten interessiert:

5. Krumme Krystallflächen, die eben bei den vorliegenden Whewellitkrystallen in typischer Weise entwickelt sind.

Auch hier ist das unter der krummen Oberfläche liegende Individuum homogen und einheitlich. Zwischen typischen, glatten und ebenen Krystallflächen, die scharfe Signale liefern, die bei der Messung bis auf kleine (höchstens 1—2 Minuten) Abweichungen richtige Winkel liefern, überhaupt der Theorie so gut entsprechen, als man es von einem Naturprodukt erwarten kann, sitzen ausgedehnte Oberflächen-

¹⁾ Lehrb. d. reinen und angewandten Krystallographie. II. Leipzig 1830, § 534.

teile, welche glatt und stetig gekrümmt sind; sie haben zwar manchmal eine Andeutung von Riefung, aber diese ist flach, krummlinig, folgt keineswegs genau, oft nicht einmal annähernd bestimmten Zonen. In extremen Fällen fehlt die Riefung völlig und die glatte Wölbung übt eine optische Wirkung aus wie ein Konvexspiegel. Ganz streng läßt sich diese Kategorie von der vorigen nicht trennen, obwohl die extremen Fälle gut unterscheidbar sind. Zwischen 4 und 5 gibt es somit alle Übergänge.

Diese krummen Krystallflächen hat schon Hauy sehr gut gekannt. Er spricht darüber zwar nicht im allgemeinen Teil, wohl aber bei der speziellen Darstellung der Krystallgestalten von Diamant¹⁾ und Gyps.²⁾ Hauy erblickt in den krummen Flächen einen Fall von Dekreszenz an der von typischen Flächen (Oktaeder bei Diamant, die Flächen P1f beim Gyps) umschlossenen Kerngestalt, wobei sowohl das Verhältnis der Abszisse und Ordinate bei den aufgelagerten Schichten als das Wegfallen der Reihen, welches bei den aufgelagerten Blättchen die Dekreszenz bestimmt, ungleichförmig ist. In den so entstehenden Kurven eine Regel zu suchen, erscheint Hauy aussichtslos und er sieht in der ganzen Erscheinung eine Störung, „l'effet d'une cristallisation confuse et précipitée, dont on peut tout au plus assigner le rapport en général avec des formes nettes et bien prononcées, dont elle n'offre pour ainsi dire que des traits ébauchés et imparfaits“.

Die Vertreter der „naturhistorischen Richtung“, allen voran Mohs³⁾, mit seinem scharfen Blick für die äußeren Kennzeichen, hat die krummen Krystallflächen wohl gekannt, aber gerade von ihm und seinem Schüler Zippe⁴⁾, wurden auch Gebilde hierher gerechnet, die wir wohl besser zu den Krümmungen infolge bypoparalleler Verwachsung rechnen, wie z. B. die sattelförmig gekrümmten Rhomboeder beim Eisenspat.

¹⁾ Hauy, Lehrbuch d. Mineralogie, übers. von Karsten und Weiß. 3. T., pag. 353, 1806.

²⁾ Essai d'une théorie sur la structure des cristaux. 1784, pag. 159 ff.

³⁾ Friedrich Mohs, Leichtfaßliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreichs. I, Wien 1836, pag. 208.

⁴⁾ D. F. X. M. Zippe, Lehrbuch der Mineralogie mit naturhistorischer Grundlage. Wien 1859, pag. 133.

Derselbe Fehler findet sich auch bei Naumann¹⁾, obwohl er sonst begrifflich die Krümmung durch oszillatorische Kombination, echte Krümmung (Diamant, Gyps) und scheinbare Krümmung durch Zusammenstoßen ebener Flächenteile mit Übergängen zu sphäroidischen Aggregaten (Prehnit, Desmin, Strahlerz) auseinander hält.

Sadebeck, der so viel Aufmerksamkeit der „Bauweise“ der Krystalle zugewendet hat, beachtet gleichwohl die kontinuierlich gekrümmten Krystallflächen verhältnismäßig wenig; sie boten ihm keine genügenden Anhaltspunkte für den Aufbau aus „Subindividuen“, den er an den Krystallen überall nachzuweisen versuchte.

Auch in den Arbeiten Scharffs findet man über das Thema nicht so viel Belehrung, als man nach der Arbeitsrichtung dieses Forschers erwarten möchte, doch finden sich bei ihm gute Bemerkungen über die krummen Krystallflächen von Gyps. Der Ausdruck „Übergangflächen“ wird von ihm oft gebraucht.

Bezeichnend ist es, daß die am tiefsten in die mathematische Behandlung der Krystallographie eingehenden Autoren, wie Mallard und Liebisch, die krummen Krystallflächen überhaupt nicht beachten.

Groth behandelt die krummen Flächen nur, insofern sie das Messungsergebnis beeinträchtigen, und hat vornehmlich hypoparallele Krümmung im Auge.

In neuerer Zeit habe ich selbst einmal mit krummen Krystallflächen des Dolomit zu tun gehabt.²⁾ Ich benützte damals die Reflexbilder zur Eintragung der Flächenpositionen, was mir in Folge der vorangegangenen Studien über Ätzflächen nahe lag.³⁾ Das Verfahren war mühsam, weil nur das einkreisige Goniometer benützt werden konnte.

Ich konnte nachweisen, daß manche dieser krummen Krystallflächen des Dolomit sich an einfache Flächenpositionen anschließen, daß bei anderen die Beziehung auf rationale Indizes kaum tunlich erscheint. Ich konnte ferner zeigen, daß den Reflexen dieser Flächen bisweilen eine Lage nahe einer theoretisch wahrscheinlichen Zone

¹⁾ Dr. Karl Friedrich Naumanns Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie. II, Leipzig 1839, pag. 171.

²⁾ Diese Mitt. X, pag. 93, 1888.

³⁾ Diese Verwendung der Lichtbilder zur Konstruktion der Projektion glaube ich zuerst vorgeschlagen zu haben in der Arbeit über Ätzversuche an der Zinkblende. Diese Mitt. V, 1883.

zukommt, daß aber selbst diese Beziehung in manchen Fällen nicht zutrifft.

Endlich machte ich die Auffassung geltend, daß das Auftreten dieser schwierig zu bestimmenden Krystallflächen dem Zurückbleiben des Krystallwachstums in gewissen Krystallräumen zuzuschreiben sei, wogegen in benachbarten Krystallräumen das voraneilende Wachstum zur Ausbildung scharfer Kanten und Ecken zwischen typischen Krystallflächen führt. Ich schlug schließlich zur Bezeichnung solcher durch Zurückbleiben des Wachstums bedingter, im allgemeinen unvollkommen entwickelter und schwierig deutbarer Krystallflächen die Benennung Notflächen vor.

Später hat sich Goldschmidt¹⁾ mit derselben Frage beschäftigt, der am Phosgenit derartige Flächen entdeckte. Seine Untersuchungsmethode ist im Prinzip, nämlich in der Übertragung des Reflexbildes in die Projektion mit der von mir seit 1883 angewandten identisch. Daß ich die Übertragung des Reflexbildes in die Projektion nur auf Ätzflächen angewendet habe, wie Goldschmidt l. c. angibt, ist eine kleine Ungenauigkeit. In den von Goldschmidt gewissenhaft zitierten Bändern der Mitteilungen 10 und 11 habe ich auch gewachsene Krystallflächen nach der gleichen Methode behandelt.

Mit dem zweikreisigen Goniometer hat uns Goldschmidt ein Instrument geschenkt, welches in unvergleichlich einfacher und eleganter Weise die Übertragung des Reflexbildes in die Projektion ermöglicht. Dadurch hat er die Beobachtung in ganz erheblicher Weise gefördert und selbst durch wertvolle Details die Kenntnis der krummen Krystallflächen erweitert.

Auch was er in formaler Beziehung über den Zusammenhang der Reflexzüge krummer Krystallflächen mit dem Projektionsbild der typischen Flächen vorbringt, wird jedermann mit Interesse verfolgen.

In bezug auf das Tatsächliche herrscht in unseren Feststellungen recht erfreuliche Übereinstimmung: Die Reflexzüge der krummen Krystallflächen entsprechen der Symmetrie des Krystalls; sie fallen in oder in die Nähe von wichtigen Zonen typischer Flächen und die Reflexgruppen nähern sich krystallographisch wahrscheinlichen Flächenörtern, ohne mit ihnen genau zusammenzufallen.

¹⁾ Zeitschrift für Krystallographie. 26. Bd., 1. Heft, 1896.

In der Diskussion der Tatsachen schlagen wir allerdings verschiedene Wege ein. Goldschmidt bringt sehr interessante Auseinandersetzungen; er verfolgt den formalen Ausbau, den sein Komplikationsgesetz durch die Einführung der den krummen Flächen entsprechenden Reflexzüge in die Projektion erfährt, und erläutert das in seiner etwas symbolistischen Art durch die undifferenzierte Wirkung der in die „Primärknoten“ verlegten flächenbauenden Kräfte.

Ich muß leider gestehen, daß ich diesen Gedankengängen nicht durchaus zu folgen vermag, weil mir schon die grundlegende Vorstellung der flächenbauenden Primärkraft physikalisch nie recht klar geworden ist.

Dagegen geht Goldschmidt auf das Moment des Zurückbleibens im Wachstum nicht ein, erwähnt auch meine Darlegungen darüber nicht. Er verwendet zur Bezeichnung der krummen Krystallflächen den Ausdruck Übergangsflächen, ohne den von mir vorgeschlagenen: Notflächen zu erwähnen und ohne darauf hinzuweisen, daß Scharff vor uns beiden den Namen Übergangsflächen gebraucht hatte.

So gerne ich nun jedem die Berechtigung einräume, die Dinge nach seiner Art anzusehen, so möchte ich doch auch jenes von mir hervorgehobene Moment (das Zurückbleiben im Wachstum) nicht für ganz wertlos ansehen; vielleicht läßt es sich aber noch etwas schärfer fassen, wenn man die Zentraldistanzen heranzieht.

Gerade die Verhältnisse, unter denen die Übergangsflächen beim Whewellit von Brüx auftreten, scheinen recht lehrreich zu sein.

Nach Fig. 1 habe ich die relativen Zentraldistanzen für den dort gezeichneten Whewellit berechnet. Als Keimpunkt nahm ich den Mittelpunkt der den Krystall links begrenzenden Längsfläche; als Vergleichskörper eine volumgleiche Halbkugel. Das Volumen des Krystalls läßt sich berechnen, indem man die Flächenräume und die Zentraldistanzen der einzelnen Krystallflächen konstruiert und das Volumen des Krystalls aus den Anwachsipyramiden sämtlicher Krystallflächen zusammensetzt. Die hierzu erforderlichen Konstruktionen sind zwar zeitraubend, aber ohne Schwierigkeit ausführbar. Das stereographische Netz von Wulff erweist sich dabei als ein ausgezeichnetes Hilfsmittel. Die durch den Radius einer volumgleichen Halbkugel dividierten Zentraldistanzen sind unter „Brüx“ angeführt.

Dieselbe Operation machte ich dann mit der Zeichnung in Millers Mineralogy, pag. 623, wobei ich annahm, daß der Krystall

mit der von m und n gebildeten Spitze aufgewachsen sei, wie das auch bei einem mir vorliegenden Krystall der Fall war. Ich nahm den Keimpunkt an in der Höhe des Treffpunktes der Kanten $n. m.$ Bei der Prüfung der Figur zeigte sich, daß sie einen Fehler enthält. Es müssen nämlich die Flächen m um ein beträchtliches breiter werden, da die Breite der gezeichneten m nicht ausreicht, um die Kanten von e zum Schluß zu bringen. Die Breite von e senkrecht zur Bildfläche ist durch die gezeichneten Flächen $f \times s$ vorgeschrieben.

Auch hier wurde als Vergleichskörper die über der Aufwachungsfläche errichtete Halbkugel gewählt.

Die betreffenden Zentraldistanzen sind unter „Burgk“ angeführt.

Zentraldistanzen der Whewellitkrystalle:

	Burgk	Brüx
e	0·87	0·81
c	1·41	0·44
b	0·64	(2·95) ¹⁾
m	0·34	2·15
x	1·11	2·34
u	0·49	—
f	1·30	—
s	0·76	—
o	—	0·91
p	—	0·82
h	—	0·41

Der wesentliche Unterschied der beiden Typen besteht darin, daß bei Brüx die Gruppe $bm x$ beträchtlich vergrößerte Zentraldistanzen besitzt. Bei Burgk ist c relativ weiter hinausgeschoben (Folge von Zwillingbildung?), während nahezu e konstant ist.

Die Folge dieses durch die großen Zentraldistanzen angezeigten Voreilens des Wachsens in der Richtung der b -Achse ist das Zurückbleiben in dem Krystallraum zwischen der Zone $[010]$ und jener Gruppe rasch wachsender Flächen $bm x$, was eben zur Ausbildung der schlecht entwickelten Flächen führt, die mit $opqt jh$ symbolisiert wurden.

¹⁾ Virtuelle Zentraldistanz für den gezeichneten Krystall. Bei anderen Krystallen erscheint eine schmale b -Fläche zwischen den x , die Zentraldistanz von b also etwas kleiner.

Man denke sich an den Brüxer Whewellitkrystallen den Komplex der Übergangsflächen durch Krystallmasse ersetzt bis zum Durchschnitt der typischen Flächen $c \text{ ex } m$. Welche Materialersparnis wurde da durch die Übergangsflächen herbeigeführt.

Dasselbe Verhältnis scheint aber mehrfach für das Auftreten derartiger Übergangsflächen maßgebend zu sein.

Man betrachte die Krystalle des Aragonit von den alpinen Erzlagerstätten, wie Werfen, Leogang, Hüttenberg usw.

Es sind Nadeln mit wohl entwickelter Prismenzone und scharfen Flächen der Domen am Kopf der Krystalle. Zwischen den typischen Flächen des Kopfes und der Prismenzone liegen die häufig krummen, nur mit Mühe auf rationale Indizes zu bringenden steilen Domen und Pyramiden, die für diese Krystalle charakteristisch sind. (Vergl. Fig. 6 Naumann-Zirkel, 14. Aufl., pag. 535, Fig. 5 Tschermak, Lehrbuch, 6. Aufl., pag. 488.)

Ähnlich liegt die Sache bei den Baryten von Příbram, Cumberland u. a. Fundorten, wo bei säulenförmiger Ausbildung nach d die am Kopfe liegenden Flächen m und o im Wachstum voraneilen, wodurch veranlaßt wird, daß anschließend an d sich recht charakteristische Notflächen ausbilden, die gleichfalls der Symbolisierung Schwierigkeiten machen.

Als Übergangsflächen von dieser Art möchte ich sodann jene an die $+$ Enden der $2\bar{1}\bar{1}$ -Flächen von Kalkspat anschließenden so häufigen krummen und glatten oder auch mannigfach gestreiften und damasierten Flächen ansehen, die bei säulenförmiger Entwicklung und Abschluß der Säule durch das typische, oft durch scharfe Kombinationsriefung ausgezeichnete Rhomboeder (101) so häufig zum Vorschein kommen.

Auch bei mehr isometrischer Gestalt der Krystalle kommen solche Bildungen vor. Ein recht gutes Beispiel geben die Krystalle von Eisenglanz. Die typischen Flächen der Elbaner Krystalle z. B. sind die (100) und $(3\bar{1}\bar{1})$. Zwischen diesen Flächen etabliert sich nun um den Pol (111) herum eine ganze Gruppe von derartigen schlecht entwickelten, gestreiften und gebuckelten Flächen, die an Stelle der Rhomboederecke treten.

Die krummen Flächen des Diamanten gehören offenbar zu derselben Kategorie: Die Oktaederflächen sind die einzigen wirklich scharf entwickelten Krystallflächen der gewöhnlichen Diamantkrystalle.

Was zwischen den Oktaederflächen vorkommt und als Kanten- und Eckenabstumpfung auftritt, sind schlecht entwickelte, materialsparende Notbildungen.

Bei hemiedrischen Krystallen werden besonders häufig solche Übergangsflächen in der einen Art von Krystallräumen angetroffen, während die korrelaten Krystallräume durch wenige, scharfe und präzise Flächen mit scharfen Ecken und Kanten ausgezeichnet sind.

Die von Goldschmidt studierten Phosgenitkrystalle vom Mt. Poni sowie die von Hlawatsch¹⁾ beschriebenen hemiedrischen Raspitkrystalle zeigen dieses Verhältnis recht deutlich. Ein ausgezeichnetes Beispiel liefert die Zinkblende, deren negative Oktanten durch krumme Übergangsflächen sehr gut charakterisiert sind.

Denkt man sich in diesen Fällen die typischen Krystallflächen bis zum Durchschnitt entwickelt, so entstehen Kanten und Ecken mit merklich größerer Zentraldistanz, als den faktisch vorhandenen „Übergangsflächen“ zukommt.

In einer nicht geringen Anzahl von Fällen scheint folgendes Verhalten für das Auftreten der krummen Übergangsflächen charakteristisch zu sein: Sie treten auf zwischen zwei Gruppen typischer Krystallflächen, von denen eine durch beschleunigtes, eine andere durch etwas verzögertes Wachstum ausgezeichnet ist. Die Normalen der Übergangsflächen liegen dann näher den Normalen der verzögerten Flächen und schließen sich diesen letzteren an.

In folgenden Fällen scheint diese Beziehung klar ausgesprochen zu sein:

	Gruppe der typischen Flächen mit beschleunigtem Wachstum	Gruppe der typischen Flächen mit etwas verzögertem Wachstum	Übergangsflächen
Calcit .	101 . 100	2 $\bar{1}\bar{1}$	sehr steile positive Rhomboeder und Skalenoeder.
Eisenglanz	100 . 3 $\bar{1}\bar{1}$	111	flache + Rhomboeder.
Aragonit .	011 .	110 . 010	sehr steile Pyramiden und Domen.
Baryt	101 . 011	120	steile Pyramiden.
Whewellit . .	010 . 011 . 110	001 . $\bar{1}$ 01	der Zone [010] nahe stehende Pyramiden.

¹⁾ Zeitschrift f. Krystallogr., 31. Jänner 1899.

Beim Diamanten liegen die Übergangflächen nicht zwischen zweierlei Arten von typischen Flächen, sondern sie werden durch voraneilendes Wachsen der typischen Oktaederflächen hervorgebracht. Hier tritt der besondere Fall ein, daß unter Umständen das Zurückbleiben des Wachsens zwischen den typischen Oktaederflächen bis zur Rinnenbildung vorschreitet.

Es braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, daß unter Umständen das Zurückbleiben des Wachstums auch zur Ausbildung von ebenen abgeleiteten Krystallflächen führen kann. Das gewöhnliche Auftreten der Trapezoederflächen am Quarz entspricht diesem Falle

Um klarer hervortreten zu lassen, was hier gemeint ist, will ich noch hervorheben, was nach meiner Ansicht nicht vorkommen kann und auch tatsächlich, so weit meine Erfahrung reicht, nicht auftritt: Man stelle sich vor eine Säule mit scharf entwickelten Prismenflächen, an deren Enden lediglich solche schlecht symbolisierbare gewölbte und gerundete Flächen auftreten. Mir ist kein derartiger Fall bekannt. Oder eine Tafel gebildet von einem präzise entwickelten Flächenpaar und als seitliche Begrenzung gewölbte, unpräzise, schlecht symbolisierbare Flächen. Auch diese Entwicklung dürfte nicht vorkommen. In beiden Fällen hätte man Übergangflächen mit maximaler Zentraldistanz, was ich für ausgeschlossen halte.

Diesen Begriff des Zurückbleibens im Wachstum gegen die typischen Flächen bringt die von Scharff, soviel ich ersehe, zuerst gebrauchte und von Goldschmidt wieder vorgeschlagene Bezeichnung „Übergangflächen“ freilich nicht zum Ausdruck; ebensowenig ist in Scharffs oder Goldschmidts theoretischen Entwicklungen dieses Moment berücksichtigt.

Wenn ich nun auch meiner Bezeichnung „Notflächen“ nicht die Priorität vindizieren kann, da diese ohne Zweifel Scharff zukommt, so möchte ich doch wieder einmal auf meine tatsächliche Verhältnisse hervorhebende Darstellung hinweisen und fühle mich dazu um so mehr aufgefordert, als ich für meine Art der Auffassung in gewissem Sinne Hauy als Vorgänger anführen kann.
