Ueber Polyëderkaleidoskope und deren Anwendung auf die Krystallographie.

Von

Edmund Hess in Marburg.

Mit 4 Holzschnitten.

In den folgenden Zeilen biete ich eine kurze Beschreibung der von mir schon vor längerer Zeit angegebenen sog. Polyëderkaleidoskope mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung derselben für krystallographische Zwecke. Ich hoffe und wünsche, dass durch die nachfolgende Mittheilung die Aufmerksamkeit der Mineralogen auf diese [nach einer brieflichen Äusserung des Herrn Th. Liebisch] für den Unterricht in der Krystallographie sehr instructiven Hülfsmittel der Anschauung gerichtet und für diesen Zweck vielleicht einiger Nutzen erzielt werden möge.

Bei meinen von einem rein mathematischen Gesichtspunkte ausgehenden Untersuchungen, welche sich auf die Eintheilungen einer Kugelfläche in gleiche und ähnliche sphärische Polygone bezogen und deren hauptsächlichsten Resultate in einem 1883 erschienenen Buche[1] niedergelegt sind, hatte ich auch in einem Paragraphen[2] die Anwendung derselben

---

[1] E. Hess: Einleitung in die Lehre von der Kugeltheilung. Leipzig. B. G. Teubner. 1883.

[2] a. a. O. §. 57. S. 262—265.

auf die Theorie der räumlichen Winkelspiegel (Polyëderkaleidoskope) behandelt. Es war mir damals entgangen, dass der durch seine grundlegenden Betrachtungen auch um die geometrische Krystallographie so hoch verdiente Altmeister A. F. Möbius in einer Abhandlung[1] bereits einen ähnlichen Gedanken ausgesprochen hatte, dass nämlich die Krystallformen, welche Symmetrie-Ebenen besitzen, als kaleidoskopische Figuren aufgefasst und dargestellt werden können. Wenn hiernach selbstverständlich Möbius die Priorität dieser Betrachtung gebührt, so darf ich für mich nur die weitere und genauere Entwickelung und Verwirklichung dieses Gedankens in Anspruch nehmen. Dagegen kann ich gegenüber einer Abhandlung von Prof. Dr. Gotthilf Werner[2], in welcher die Verwirklichung derselben Idee durch einen sehr sinnreichen, aber nach meiner Auffassung für die praktische Anwendung doch zu complicirt construirten Apparat beschrieben ist, meine Priorität — insofern nach dem oben gesagten noch von einer solchen die Rede sein kann — behaupten. Denn meine erste Abhandlung über diesen Gegenstand ist bereits im Jahre 1879[3] publicirt worden und die nach meinen Angaben von dem Optiker Herrn Dr. Krüss in Hamburg construirten Polyëderkaleidoskope sind bereits im Februar 1882 von mir vorgelegt und demonstrirt worden[4].

Die Anwendbarkeit der zu erläuternden Methode beschränkt sich auf diejenigen Krystallformen, welchen eine oder mehrere Symmetrie-Ebenen zukommen, so dass die plagiëdrisch-hemiëdrischen und die tetartoëdrischen Formen des regulären, die trapezoëdrisch-hemiëdrischen, sowie die beiden Arten von tetartoëdrischen Formen des tetragonalen und des hexago-

---

[1] A. F. Möbius: Über das Gesetz der Symmetrie u. s. w. Crelle, Journal. Bd. 43 (1852) oder Gesammelte Werke. II. Bd. p. 349—360.

[2] Diese Abhandlung, auf welche Herr College Bauer mich aufmerksam zu machen die Freundlichkeit hatte, ist kurz nach dem Tode des Verf. im Programm des kgl. Realgymnasiums in Stuttgart 1882 unter dem Titel: „Ein krystallographisches Anschauungsmittel“ publicirt worden.

[3] E. Hess: Ein Problem der Katoptrik. Sitzungsber. der Gesellsch. z. Bef. d. ges. Naturwissenschaften zu Marburg. Januar 1879. S. 7—20.

[4] Ebenda vom 15. Februar 1882; vergl. auch Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. Bd. VI. 1882. S. 742.

nalen, die sphenoidisch-hemiëdrischen Formen des rhombischen, sowie endlich alle Formen des triklinen Systems ausgeschlossen bleiben.

1) Denjenigen Krystallformen, welche nur eine einzige Symmetrieebene besitzen, also den pyramidal-hemiëdrischen Formen des tetragonalen und des hexagonalen Systems und den Formen des monoklinen Systems kommt die selbstverständliche Eigenschaft zu, dass wenn man eine der beiden durch die Symmetrieebene ausgeschnittenen Hälften der Oberfläche auf eine spiegelnde Ebene aufsetzt, so dass die Ebene des Spiegels mit dieser Symmetrieebene zusammenfällt, das Spiegelbild einer Hälfte mit dieser zusammen ein Bild der vollständigen Oberfläche der Form gewähren wird. Hierbei wird die Anschaulichkeit vermehrt werden, wenn die einzelnen die Oberfläche bildenden ebenen Figuren mit Öffnungen versehen werden, also z. B. ein stabförmiges Netz der halben Oberfläche benutzt wird, da man alsdann auch in das Innere des ganzen zur Anschauung gebrachten Körpers hineinsehen und die Lage der einzelnen Theile der Oberfläche zur Symmetrieebene überblicken kann.

2) Was diejenigen Krystallformen anlangt, welchen zwei oder mehrere sich in einer Axe schneidende Symmetrieebenen zukommen, so sind dies bekanntlich nur die sphenoidisch-hemiëdrischen Formen des tetragonalen, bei welchen zwei zu einander senkrechte und sich in der Hauptaxe schneidende Symmetrieebenen und die rhomboëdrisch-hemiëdrischen Formen des hexagonalen Systems, bei welchen drei durch die Hauptaxe gehende und unter 60° gegeneinander geneigte Symmetrieebenen vorhanden sind.

Die ersteren Formen kann man einfach zur Anschauung bringen, wenn man eins der durch die beiden Symmetrieebenen ausgeschnittenen Viertel der Oberfläche zwischen zwei zu einander senkrechte Spiegel so legt, dass die beiden Symmetrieebenen mit den Spiegelebenen zusammenfallen. Im einfachsten Falle eines tetragonalen Disphenoids hat man den durch zwei in einer Seitenkante μ aneinanderstossende Dreiecke gebildeten Theil der Oberfläche so auf die Spiegel aufzusetzen, dass die Endkanten ν_1, ν_1 auf dem ersten,

die Endkanten ν_2, η_2 auf dem zweiten Spiegel aufliegen. (Vergl. Fig. 1 α, welche das Netz dieses Theils zeigt, welches in der halbeingeschnittenen Kante μ passend zu biegen ist. Fig. 1 β zeigt das entsprechende Netz des vierten Theils der Oberfläche eines tetragonalen Sphenoids, bei welchem das Spiegelbild je eines der rechtwinkligen Dreiecke mit diesem in einer Ebene liegt. — Das Innere der Dreiecke ist längs der angegebenen Linien auszuschneiden.)

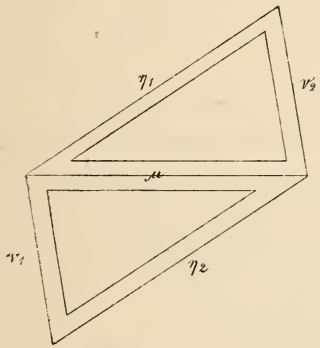

Fig. 1 α.

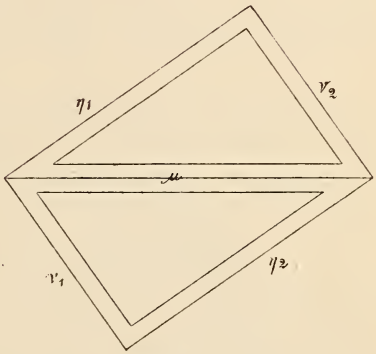

Fig. 1 β.

Ebenso erhält man die rhomboëdrisch-hemiëdrischen Formen des hexagonalen Systems anschaulich dargestellt, wenn man den durch zwei benachbarte, unter 60° gegen einauder geneigte Symmetrieebenen ausgeschnittenen sechsten Theil der Oberfläche so zwischen zwei unter 60° gegeneinander geneigte Spiegel bringt, dass die beiden Symmetrieebenen mit diesen Spiegelebenen zusammenfallen (vergl. die Fig. 2 α und 2 β, welche die Netze dieser Theile der Oberfläche für ein Skalenoëder und ein Rhomboëder darstellen). Auch hier wird die Anschaulichkeit des Gesammtbildes erhöht, wenn durch das Ausschneiden des inneren Theiles der beiden Dreiecke die Betrachtung des Inneren des Körpers ermöglicht wird und so die Lage der drei Symmetrieebenen gegen die einzelnen Theile der Oberfläche überblickt werden kann.

Dass in der That in diesen beiden Fällen ein Gesammtbild der Oberfläche der betreffenden Form durch die an den

beiden Spiegeln entstehenden Reflexionen erzeugt wird, ergibt sich aus folgenden katoptrischen Sätzen.

Wenn der von zwei Spiegeln, deren spiegelnde Seiten einander zugekehrt sind, eingeschlossene Winkel $\frac{180^0}{p}$ beträgt ($p = 2, 3, 4 \ldots$), so entstehen von einem innerhalb dieses Winkels befindlichen leuchtenden Punkte P durch die ein- und mehrfachen Reflexionen $p - 1$ Bilder, welche mit dem

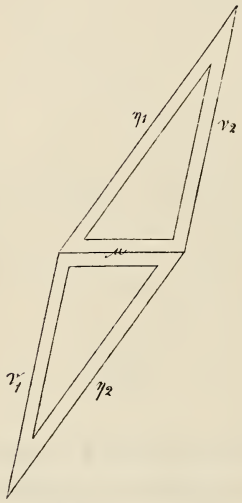

Fig. 2 α.

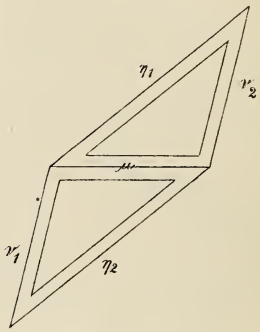

Fig. 2 β.

Punkte zusammen auf der Peripherie eines Kreises liegen, dessen Ebene senkrecht zur Kante beider Spiegel durch den Punkt P geht und dessen Centrum der Schnittpunkt der Kante mit dieser Ebene ist. Der Punkt P und seine $p - 1$ Bildpunkte liegen auf der Peripherie dieses Kreises so, dass auf jedem der p Bogen, welche durch die beiden Spiegel-Halbebenen und deren (durch Spiegelung erzeugten) Wiederholungen auf dem Kreise abgeschnitten werden, je ein Bildpunkt immer symmetrisch zum vorhergehenden und nachfolgenden gelegen vorhanden ist. Während aber auf jeden Punkt dieser durch Wiederholung entstandenen Bogen ein, durch ein- oder mehrfache Reflexion erzeugtes Bild eines Punktes P fällt, fallen in jedem Punkte des Scheitelbogens zwei Bildpunkte

desselben Punktes P zusammen, welche durch p Reflexionen an beiden Spiegeln entstanden sind, von denen die eine Reihe am ersten, die zweite am zweiten Spiegel begonnen hat.

Aus diesen Beziehungen folgen unmittelbar für $p = 2$ und $p = 3$ die oben besprochenen Darstellungen. Die beiden in dem Scheitelwinkel der Spiegel erscheinenden Bilder können leicht bei verschiedener Stellung des Auges wahrgenommen und so bei der vorausgesetzten stabförmigen Form des eingelegten Theils der Oberfläche die äussere und innere Seite derselben im Gesammtbilde fast vollständig überblickt werden.

3) Bei weitem am interessantesten ist aber die Darstellung von Krystallformen, welchen drei und mehr — sich in einem Punkte schneidende Symmetrieebenen — zukommen, mittelst der von drei eine Ecke bildenden Planspiegeln erzeugten Bilder eines Theils der Oberfläche.

Über die Theorie dieser räumlichen Winkelspiegel will ich hier nur die wichtigsten in Betracht kommenden Sätze im folgenden kurz anführen, indem ich wegen der Begründung derselben auf meine oben erwähnten Schriften und eine vor kurzem erschienene Abhandlung[1] verweise.

Befindet sich ein Punkt P innerhalb einer drei- (oder mehr-) flächigen Ecke, deren Flächen auf der Innenseite als spiegelnd vorausgesetzt werden, so liegen sämmtliche durch die vereinte Wirkung der Spiegel erzeugten Bilder mit dem Punkte P selbst auf einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt der Scheitel der Ecke ist. Die drei- oder mehrflächige Ecke erzeugt als Kugelschnitt ein sphärisches Dreieck oder Polygon, innerhalb dessen der Punkt P liegt.

Die Anzahl und Lage der entstehenden Bildpunkte hängt in bestimmter Weise von den Neigungswinkeln je eines in einer Kante zusammenstossenden Spiegelpaares und von der Lage des Punktes P innerhalb des Polygons ab. Die von einem Spiegelpaare an einer Ecke erzeugten und um dieselbe

---

[1] E. Hess: „Über die Zahl und Lage der Bilder eines Punktes bei drei eine Ecke bildenden Planspiegeln.“ Sitzungsber. d. Gesellsch. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg. Januar 1888.

concentrisch gruppirten Bildpunkte sind im Allgemeinen wiederum Objecte für die in den übrigen Ecken des Polygons sich schneidenden Spiegelpaare. Nur von denjenigen Bildpunkten können keine weiteren Bilder entstehen, welche innerhalb der Scheitelwinkel sämmtlicher Spiegelpaare, also in der Gegenfigur des sphärischen Polygons liegen. Hieraus erhellt dass in allen Fällen die Zahl der Bildpunkte eine endliche sein wird und dass in je einem Punkte bestimmter Theile der Kugeloberfläche die durch verschiedene Reflexionen entstandenen Bilder desselben Punktes oder verschiedener Punkte der Fläche des Polygons zusammenfallen werden.

Die einfachsten und hier allein in Betracht kommenden Fälle sind diejenigen, in welchen das sphärische Polygon so beschaffen ist, dass es nebst seinen direct symmetrischen und congruenten Wiederholungen ein zusammenhängendes sphärisches Netz liefert, welches die Kugelfläche einmal bedeckt. Die sämmtlichen Winkel eines derartigen sphärischen Polygons, welches die Grenzfläche eines aus m gleichen Flächen bestehenden Netzes bildet, müssen nun bekanntlich

$$(1) \quad A_1 = \frac{360^0}{n_1},\ A_2 = \frac{360^0}{n_2},\ A_3 = \frac{360^0}{n_3} \ldots$$

sein, wo n_1, n_2, n_3 . . . bestimmte ganze Zahlen bedeuten.

Unter diesen sphärischen Polygonen und den ihnen zugehörigen Centralecken sind aber wiederum diejenigen, für welche diese Zahlen n_1, n_2, n_3 . . . sämmtlich gerade sind, also irgend ein Flächenwinkel

$$(2) \qquad A_i = \frac{180^0}{p_i},\ (p_i = 2, 3, 4 \ldots)$$

ist, für unsere Betrachtung von besonderer Wichtigkeit. Denn nur diese Ecken haben die Eigenschaft, dass die spiegelnden Seitenflächen von jedem im Inneren liegenden Punkte P m — 1 Bildpunkte erzeugen, welche die zu P homologen Punkte in den sämmtlichen Flächen des gleichflächigen sphärischen Netzes sind und wobei alle in einem derartigen Punkte zusammenfallenden Bildpunkte auch immer Bilder desselben Punktes P der ursprünglichen Fläche sind[1].

[1] Ein einfaches combinatorisches Verfahren, durch welches man in allen Fällen die Zahl der in einem Punkte zusammenfallenden Bildpunkte

4) Nun sind aber von Ecken, welche der zuletzt aufgestellten Bedingung entsprechen, nur die in der folgenden Zusammenstellung aufgeführten möglich, in welcher A_i einen Winkel, α_i eine Seite des sphärischen Dreiecks — denn nur dreiflächige Ecken sind möglich — und m die Zahl der Flächen des gleichflächigen sphärischen Netzes bedeutet:

$$(3)\quad \left|\begin{array}{l} 1)\ A_1 = \frac{180^0}{p},\ A_2 = A_3 = 90^0;\ \alpha_1 = \frac{180^0}{p},\ \alpha_2 = \alpha_3 = 90^0;\ m = 4p; \\ \quad (p = 2, 3, 4 \ldots) \\ 2)\ A_1 = 90^0,\ A_2 = A_3 = 60^0;\ \alpha_1 = 180^0 - 2\eta,\ \alpha_2 = \alpha_3 = \eta;\ m = 24; \\ 3)\ A_1 = 45^0,\ A_2 = 60^0,\ A_3 = 90^0;\ \alpha_1 = 90^0 - \eta,\ \alpha_2 = 45^0,\ \alpha_3 = \eta; \\ \quad m = 48; \\ 4)\ A_1 = 36^0,\ A_2 = 60^0,\ A_3 = 90^0;\ \alpha_1 = \psi,\ \alpha_2 = \varphi, \\ \quad \alpha_3 = 90^0 - \varphi - \psi;\ m = 120. \end{array}\right.$$

Dabei ist:

$$(4\alpha)\quad \operatorname{tang}\eta = \sqrt{2};\ \operatorname{tang}\varphi = \frac{\sqrt{5}-1}{2},\ \operatorname{tang}\psi = \operatorname{tang}^2\varphi.$$

$$(4\beta)\quad \eta = 54^0\,44'\,8'';\ \varphi = 31^0\,43'\,3'';\ \psi = 20^0\,54'\,19''.$$

Die durch diese sphärischen Dreiecke bestimmten gleichflächigen sphärischen Netze sind bez.

(5)
1) das Netz einer regulären Doppelpyramide von 2.2p. Flächen,
2) das Hexakistetraëder-Netz,
3) das Hexakisoktaëder-Netz,
4) das Diakishexekontaëder-Netz;

d. h. die drei Seitenflächen der den sphärischen Dreiecken zugehörigen Centralecken sind drei benachbarte direct symmetrische Mittelebenen bez.

(5α)
1) einer regulären Doppelpyramide,
2) eines regulären Tetraëders,
3) eines regulären Oktaëders,
4) eines regulären Ikosaëders.

Für die Krystallographie kommen von den Ecken 1) nur folgende drei:

---

und die Gesammtzahl der Bilder bestimmen kann, habe ich in der zuletzt angeführten Abhandlung angegeben.

1 a) $p = 2$, $m = 8$ zur Darstellung der holoëdrischen Formen des rhombischen, der pentagonal-hemiëdrischen und auch der holoëdrischen Formen des regulären Systems,

1 b) $p = 4$, $m = 16$ zur Darstellung der holoëdrischen Formen des tetragonalen Systems,

1 c) $p = 6$, $m = 24$ zur Darstellung der holoëdrischen Formen des hexagonalen Systems; ferner

die Ecke 2) zur Darstellung aller tetraëdrisch-hemiëdrischen und

die Ecke 3) aller holoëdrischen Formen des regulären Systems, dagegen nicht die Ecke 4) in Betracht.

5) Wenn man senkrecht zum Radius vector eines innerhalb einer derartigen spiegelnden Ecke befindlichen Punktes eine Ebene legt und die dreieckige Schnittfigur derselben mit den Seitenflächen der Ecke bestimmt, so werden die $m - 1$ durch Spiegelung entstehenden Bilder dieses Dreiecks mit demselben zusammen die vollständige Oberfläche einer einfachen Form des entsprechenden Krystallsystems darbieten. Hierbei können sich für besondere Lagen der Ebene zwei und mehrere Dreiecke zu einer Grenzfläche vereinigen.

Man kann also die sämmtlichen einfachen Formen der angegebenen Krystallsysteme mit Hülfe solcher räumlichen Winkelspiegel zur Anschauung bringen, wenn man ein passend ausgeschnittenes Dreieck in richtiger Lage in das Innere einer solchen Ecke bringt. Aber auch sämmtliche Combinationsgestalten, Formen mit sich selbst schneidenden Oberflächen, Zwillingsformen, überhaupt die Oberfläche jeder Form, welcher die charakteristischen Symmetrieebenen des betreffenden Systems zukommen (also z. B. auch die sphärischen Netze selbst) können einfach durch jene spiegelnden Ecken erzeugt werden, wenn man den durch die Ebenen der dreiflächigen Ecke ausgeschnittenen Theil der Oberfläche einer solchen Form in der richtigen Lage in dieselbe hineinbringt. Die Anschaulichkeit wird auch hier wesentlich erhöht, wenn das einzulegende Dreieck oder der entsprechende Theil der Oberfläche möglichst offen ist, so dass das Innere der ganzen zur Anschauung gebrachten Form, insbesondere die Lage und der Verlauf der sämmtlichen Symmetrieebenen und der Sym-

metrieaxen, welche durch die Kanten der Ecken und deren Spiegelbilder dargestellt sind, bequem überblickt und verfolgt werden kann.

6) Nach den im Vorstehenden gegebenen Regeln lässt sich die Construction der in die spiegelnden Ecken 1 a), 1 b), 1 c), 2) und 3) einzulegenden Figuren in allen Fällen leicht ausführen.

Z. B. für die einfachen holoëdrischen Formen des regulären Systems, welche durch die Ecke 3) zur Anschauung gebracht werden, hat man als Einlagen die folgenden Dreiecke anzuwenden (a_1, a_2, a_3 bedeuten die ebenen den Flächenwinkeln der Ecke A_1, A_2, A_3 bez. entsprechenden Winkel):

$$(6)\quad \begin{array}{lll} & A_1 = 45^0, & A_2 = 60^0,\ A_3 = 90^0 \\ 1) & a_1 = 45^0, & a_2 = 45^0,\ a_3 = 90^0;\ \text{Hexaëder} \\ 2) & a_1 = 30^0, & a_2 = 60^0,\ a_3 = 90^0;\ \text{Oktaëder} \\ 3) & a_1 = 90^0 - \eta, & a_2 = \eta,\ a_3 = 90^0;\ \text{Rhombendodekaëder} \\ 4) & 90^0 - \eta < a_1 < 45^0, & \eta > a_2 > 45^0,\ a_3 = 90^0;\ \text{Tetrakishexaëder} \\ 5) & 30^0 < a_1 < 90^0 - \eta, & 60^0 > a_2 > \eta,\ a_3 = 90^0:\ \text{Triakisoktaëder.} \end{array}$$

Die Einlage für ein Deltoid-Ikositetraëder ist die symmetrische Hälfte des Deltoids, diejenige für ein Hexakisoktaëder die Grenzfläche eines solchen selbst.

Mit Hülfe der Ecke 2) lassen sich nicht nur die tetraëdrisch-hemiëdrischen, sondern auch die holoëdrischen Formen des regulären Systems darstellen. Bringt man z. B. in die Ecke 2) zwei Grenzflächen eines Hexakisoktaëders, welche in einer in der Symmetrieebene zwischen einer 4-zähligen und einer 2-zähligen Symmetrieaxe liegenden Kante zusammenstossen, in der richtigen Lage hinein und unterscheidet die beiden zu einander symmetrischen Grenzflächen durch verschiedene Farben, so zeigt das entstehende Bild des Hexakisoktaëders die beiden Flächengruppen, deren jede für sich ein Hexakistetraëder bildet.

Man wird auch leicht bemerken, dass bei den meisten einzulegenden Figuren es innerhalb der Ecke zwei mögliche Lagen gibt, von denen die eine ein convexes, die andere ein sternförmiges oder auch nicht convexes Polyëder als Gesammtbild liefert: Das Dreieck 2) in (6) ergibt z. B. bei derjenigen Lage, für welche:

der Scheitel der Ecke a_1 auf der Kante des Flächenwinkels A_1,
" " " " a_2 " " " " " A_3,
" " " " a_3 " " " " " A_2

aufliegt, das Bild zweier concentrischen sich regelmässig kreuzenden Tetraëder, der sog. stella octangula Kepler's.

7) Was die Anfertigung der spiegelnden Ecken selbst betrifft, so kann man die Anordnungen 1 a), 1 b), 1 c) nebst den unter 1) und 2) besprochenen in einem Apparat dadurch vereinigen, dass man zwei ebene Spiegel um ihre Schnittkante als Axe drehbar construirt und dieselben bez. unter 90°, 45°, 30° mit einem dritten zu der Axe senkrechten Spiegel fest verbindet; für die Winkel 90°, 60° geben die beiden verbundenen Spiegel die unter 2) besprochene Anordnung. Um die Ecken 2), 3) (und auch 4)) zu erhalten, hat man einfach, nachdem die drei Spiegel nach den angegebenen ebenen Winkeln ausgeschnitten sind, dieselben längs der Kanten fest zu verbinden und zu fassen.

Diese Ecken sind früher für mich, kürzlich für Herrn Liebisch von dem Optiker Herrn Dr. Krüss in Hamburg aus möglichst dünnem Spiegelglase[1] (bei den festen Ecken beträgt die Länge der Kanten etwa 15 cm.) nebst einer Reihe von passenden Einlagen hergestellt worden. Die mit Hülfe derselben gewonnenen Gesammtbilder der Formen können als sehr anschaulich und instructiv bezeichnet werden. Auch die durch die Ecke 4) erzeugten Bilder der flächenreichen — freilich für die Krystallographie bedeutungslosen — einfachen und Combinations-Gestalten des regulären ikosaëdrischen Systems, u. A. der sternförmigen sog. Kepler-Poinsot'schen Polyëder können als interessant und lehrreich empfohlen werden.

Es verursacht zwar mitunter etwas Mühe, die einzulegenden Figuren, deren Oberfläche möglichst offen herzustellen ist, in richtiger Lage in die spiegelnde Ecke hineinzubringen; doch wird man für diese kleine Mühe, welche sich bei einiger Übung und bei Benutzung eines passenden Stäbchens sehr verringert, durch die grosse Durchsichtigkeit des Gesammtbildes der Formen, insbesondere durch das deutliche Hervortreten des Verlaufs der sämmtlichen Symmetrieebenen

[1] Auch dürfte sich vielleicht die Anwendung von Silberspiegeln empfehlen.

und Symmetrieaxen im Inneren hinreichend belohnt. Man vermeidet zwar diese Schwierigkeit, wenn man die aus Blech hergestellten Einlagen mit einem festen umgebogenen Fortsatze versieht, welcher sich in die Ecke hineinlegt, so dass man diese Stücke nur auf die betreffende Fläche der Ecke zu legen und hinabgleiten zu lassen braucht. Allein einmal ist es recht schwierig, die Umbiegung des Fortsatzes in dem richtigen Winkel vorzunehmen, andererseits leidet hierdurch wesentlich die so sehr instructive Durchsichtigkeit des Gesammtbildes.

Marburg i. H. im Februar 1888.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: 1889

Autor(en)/Author(s): Hess Edmund

Artikel/Article: Ueber Polyederkaleidoskope und deren Anwendung auf die Krystallographie 54-65