XII. Anlegegoniometer mit zwei Kreisen.

Von

V. Goldschmidt in Heidelberg.

(Hierzu Tafel VI, Fig. 1, 2.)

Zweck des Instrumentes ist die Messung grosser Krystalle mit nicht spiegelnden Flächen, sowie die Demonstration des Princip's der zweikreisigen Messung an grossen Krystallen und Modellen.

Das Princip der Messung und die Rechnung sind die gleichen wie beim zweikreisigen Reflexionsgoniometer*).

Beschreibung des Instrumentes (Taf. VI Fig. 1). Der Horizontalkreis H mit Marke m und Theilung in Grade $0-360^\circ$ dreht sich mit dem Krystall. Der Krystall wird auf einen Krystallträger t gekittet. t besteht aus einem Plättchen mit einem Zapfen. Der Zapfen wird in einem Loch des Justirapparats J durch die Schraube σ und den Schlüssel Σ verklemmt. Solcher Krystallträger hat man mehrere von verschiedener Grösse und Form; man wählt für den Krystall einen passenden aus. Zwischen t und J klemmt man ein Plättchen Papier von schwarzer, weisser oder sonstiger Farbe, das man nach der Farbe des Krystalls auswählt. Es soll einen möglichst contrastirenden einheitlichen Hintergrund bilden.

Der Verticalkreis V hat die Form eines Bügels. Er steht $\perp H$. Theilung von oben nach beiden Seiten von $0-100^\circ$. An V gleitet ein Führungsstück F mit Marke, durch eine starke Feder an V gepresst. Es trägt den Stift S mit Anlegeplättchen p . S steht radial zu V , $p \perp S$. S liegt in einem Einschnitt von F , ist durch eine Feder angepresst, lässt sich heraus und hinein schieben und drehen. Durch S nähert man p beliebig dem Krystall.

Der Justirapparat J hat den Zweck, den Krystall vor der Messung polar zu stellen**), d. h. mit den Prismen $\perp H$. J besteht aus einer Kugel K mit Hals h . In eine verticale Bohrung von h wird der Zapfen des Krystall-

*) Vergl. diese Zeitschr. 1893, 21, 240.

**) Vergl. diese Zeitschr. 1893, 21, 245.

trägers t eingesetzt. K ist von unten durch eine Feder gegen eine Kugelbohrung der Platte H gepresst. K ist im Bild nicht sichtbar; nur h ragt über H heraus. Das Kugelgelenk K gestattet Neigung nach allen Seiten; doch sind zum Justiren zwei auf einander senkrechte Bewegungen vorzuziehen. Diese Bewegungen sind dadurch erzielt, dass h zwei auf einander senkrechte horizontale Bohrungen $b_1 b_2$ hat. In diese wird ein Stift gesteckt, der das andere Ende des Schlüssels Σ bildet. Der lange Hebel des Stiftes ermöglicht eine feine Winkelbewegung. Zugleich kann man durch ihn eine bedeutende Kraft ausüben und den Krystall stetig drehen, trotzdem die Kugel durch eine starke Feder fest an H gepresst ist.

Ein Fuss dient dem Instrument zugleich als Handhabe.

Anm. Vergleichen wir dies Instrument mit dem zweikreisigen Reflexionsgoniometer (diese Zeitschr. 1893, **21**, 240), so sehen wir, dass hier der Verticalkreis V die gleiche Rolle spielt, wie dort der Horizontalkreis H und umgekehrt. Wir lesen hier an H die Winkel φ ab, an V die φ , dort umgekehrt.

Das Arbeiten mit dem Instrument zerfällt in:

1. Polarstellen, d. i. orientirtes Aufsetzen des Krystalls.
2. Messen der Flächenpositionen durch Einstellen und Ablesen.

1. **Polarstellen.** Es soll in der Regel normal geschehen, d. h. so, dass die Prismenzone $\perp H$ steht. Hierbei sind drei Fälle zu unterscheiden.

- a. Polfläche f ausgebildet.
- b. Prismenzone ausgebildet.
- c. Orientirung anders definirt.

a. **Polfläche f ausgebildet.** Man befestigt den Krystall ungefähr richtig. $f \parallel H$. Einstellen der Marke an V bei 0° . Das Anlegplättchen p ist dann $\parallel H$. Man fasst das Instrument beim Fuss, die Ebene von H dem Beschauer gegenüber und neigt es so, dass f zur Linie verkürzt erscheint, schiebt p durch den Stift S an f dicht heran, aber nicht bis zur Berührung und sieht zu, ob die Trace von f mit der von p parallel ist, d. h. ob zwischen beiden der Hintergrund als feine, gleichmässig starke Linie durchscheint. Ist dies noch nicht der Fall, so steckt man den Stift des Schlüssels in das eben quer gerichtete Loch b_1 im Hals h des Justirapparats J und neigt, bis die Tracen parallel sind. Wir wollen dies Verfahren **Vergleichen der Tracen** nennen.

Als Hintergrund wählt man ein nach Farbe des Krystalls passendes weisses, schwarzes oder sonst farbiges Papier, das man auf den Tisch legt. Auch ein Licht oder der helle Himmel ist gut als glänzender Hintergrund.

Dann dreht man H um 90° oder man dreht das Instrument in der Hand, so dass man in die Ebene V blickt, vergleicht wieder die Tracen und corrigirt durch Einstecken des Schlüsselstiftes in die zweite Bohrung b_2 von h und durch Neigen. So abwechselnd Correctur durch b_1 und b_2 , bis die Trace von f nach beiden Richtungen $\parallel p$. Dann steht f polar.

Controlle. Etwa vorhandene Prismen sollen bei $\varphi = 90^\circ$, d. h. bei Marke 90° an V mit p einstimmen. Flächen von bekanntem φ oder ϱ sollen dies ergeben; Flächen eines Ringes *) sollen gleiches ϱ zeigen.

Anm. Oft ist eine Fläche treppenförmig abgestuft. Dann ist Vorsicht nöthig, dass man nicht mit einem Uebergangsstücke, sondern mit einem ebenen Theile des Krystalles die Trace vergleicht.

b. Prismenzone ausgebildet. Man befestigt den Krystall so, dass die Prismenzone möglichst $\perp H$ steht und eine Prismenfläche oder Kante m_1 gegenüber b_1 . Man stellt das Plättchen $p \perp H$, d. h. die Marke an V auf 90° und vergleicht die Trace von m_1 mit p ; corrigirt durch den Schlüsselstift in b_1 . Darauf Drehen von H um ca. 90° so, dass eine andere Prismenfläche oder Kante p gegenübersteht. Vergleichen der Trace und Correctur der Neigung durch Einstecken des Schlüsselstiftes in b_2 und Neigen. So abwechselnd bis die Tracen beider Prismenflächen und damit aller Flächen der Zone bei der Drehung von $H \parallel p$ erscheinen. Damit ist die Polarstellung ausgeführt.

c. Orientirung anders definirt. Es ist dann analog zu verfahren, wie in dieser Ztschr. 1895, 24, 640 für das zweikreisige Reflexionsgoniometer angegeben. Nur ist zu beachten, dass, wie erwähnt, die Rollen von V und H vertauscht sind. An Stelle des Einstellens der Reflexe tritt hier das Einstellen auf p durch Vergleichen zweier Tracen.

2. Messen der Flächenposition besteht nach erfolgter Polstellung im Parallellstellen der einzelnen Flächen mit p (wir wollen das **Einstellen** nennen) durch Drehen von V und H und Ablesen an beiden Kreisen. Die Ablesung v an H giebt $\varphi = v - v_0$, wobei v_0 die Ablesung für den gewählten ersten Meridian ist. Die Ablesung an V liefert unmittelbar die Poldistanz ϱ .

Einstellen einer Fläche a geschieht durch Vergleichen der Tracen in zwei aufeinander senkrechten Richtungen. Wir haben danach zwei Beobachtungen: I $\perp V$, II in Ebene von V . Man fasst das Instrument beim Fuss und hält es so, dass die Fläche von V dem Beobachter gegenüber steht, neigt es gegen einen passenden Hintergrund und dreht H so, dass $a \perp V$ steht, d. h. zur Linie verkürzt erscheint, hebt p an V und vergleicht (Beob. I). Nun dreht man das Instrument in der Hand so, dass man in der Ebene von V blickt und vergleicht die Trace (Beob. II). Correctur durch Drehen von H . Wiederholung von Beob. I und Correctur durch V , von II und Correctur durch H . So abwechselnd bis beide Tracen mit p stimmen. Dann ist a eingestellt. Beim Visiren in Ebene V resp. $\perp H$ dreht man die Längsrichtung von $p \parallel H$; beim Visiren $\perp V$ richtet man $p \parallel V$.

Anm. 1. Beim Einstellen an V (auch wohl an H) thut man gut, abzulesen und nach Ermessen 20° , 10° , $\frac{1}{2}^\circ$, $\frac{1}{4}^\circ$ zuzulegen oder abzunehmen und wieder zu vergleichen,

*) Vergl. diese Zeitschr. 1895, 24, 644.

statt während der Beobachtung durch Drücken am Schieber zu ändern. Der Vergleich ist ruhiger und sicherer; auch entfällt die Gefahr nach beiden Seiten unregelmässig über das Ziel zu schiessen. Bei wiederholter Einstellung derselben Fläche (Repetition) ist nicht so zu verfahren, um Beeinflussung durch die frühere Ablesung zu vermeiden.

Anm. 2. Beim Messen der Prismen nach erfolgter Polstellung stellt man p auf 90° , blickt von oben herab ($\perp H$) und hat zum Vergleichen und Einstellen nur H zu drehen. Als Hintergrund dient das zwischen Krystallträger t und Hals h von J eingeklemmte Papierblättchen von passender Farbe.

Genauigkeit hängt von Grösse und Ausbildung der Flächen, auch von der Vorsicht im Beobachten und einigermaßen von Uebung ab. Sie beträgt unter günstigen Verhältnissen etwa $\frac{1}{2}^\circ$. Durch Repetition kann sie erhöht werden.

Anwendung.

1. Die **Messung grober Krystalle** ist hier ausführbar in Fällen, wo das Reflexionsgoniometer versagt.

2. Das Instrument ist instructiv zur **Demonstration** des Principes der zweikreisigen Messung, sowie der Art, wie sich Messung, Rechnung, Projection und Anschauung verknüpfen.

Ueber die **Demonstration** mögen einige Worte gestattet sein.

Beziehungen zwischen Fläche, Normale, Projectionspunkt. Das Plättchen p , das sich an die Fläche anlegen, mit ihr identificiren lässt, mit dem Stift S zeigt Fläche und Flächennormale. Durch Heranschieben und Zurückziehen von p werden die Ablesungen nicht geändert; das zeigt die Unabhängigkeit der Messungsergebnisse von der Centraldistanz der Flächen. Der Durchstich des Stiftes S mit dem Bügel V (Meridian) giebt den Projectionspunkt der Fläche auf der Kugel, die Kugelprojection, deren stereographische Abbildung in der Krystallographie gebräuchlich ist. Der gnomonische Projectionspunkt ergibt sich, wenn man durch den höchsten Punkt des V eine Ebene legt, die sich mit H dreht, als Durchstich des Stiftes mit dieser Ebene.

Analogie mit geographischer und astronomischer Ortsbestimmung. Der Verticalkreis (Bügel) stellt, wie beim Globus, den Meridian vor, der Nullpunkt den Nordpol (resp. Zenith), der Horizontalkreis H den Aequator (resp. Horizont) oder einen Parallelkreis. Der Durchstich des Stiftes durch V giebt den Ort des die Fläche vertretenden Punktes auf der Kugel. Wir sehen die Analogie der Flächenpunkte mit Punkten auf der Erde oder mit Sternen an der Himmelskugel. Mit der Neigung des Stiftes steigt der Flächenpunkt vom Pol auf dem Meridian herab. Die Ablesung an V giebt die Nummer des Parallelkreises (φ), an dem der Flächenpunkt bei Drehung von H hinwandert.

Eine Fläche nach der andern passirt den Bügel V , den festen Meridian. Die Zahl an der Marke von H nennt dabei die Nummer des zur Fläche

gehörigen Meridians (φ). Denken wir an Stelle des Stiftes einen in sich zurückfallenden Lichtstrahl (Autocollimation), so stellt der Stift den Stand der Sonne vor. Der feste Meridian, an dem der Stift sitzt, ist, wie sein Name sagt, die Mittagslinie. Alle Flächen, die bei Drehung von H zugleich den Meridian passiren, haben den gleichen Mittag, das gleiche φ . Alle Flächen, die bei Drehung von H in gleicher Sonnenhöhe spiegeln, sitzen auf dem gleichen Parallelkreise (Ring), in der gleichen Breite. Die Ablesung an V giebt an, wie hoch sich die Sonne über den Aequator erheben muss, um senkrecht über dem Ort, der Fläche, zu stehen.

Die Heranziehung solcher Analogien mit anderen Wissensgebieten dürfte anregend wirken.

Die Symmetrieverhältnisse treten bei der Messung hervor.

Beisp. 1. Setzen wir einen Quarz mit Prisma und Pyramide auf und stellen ihn polar, so zeigt sich, dass nach je 60° ein Prisma und zugleich eine Pyramidenfläche darüber den Meridian passirt; desgleichen alle etwaigen Rhomboëder der Zone zwischen Pyramide und Prisma. Das trifft zu, mag der Krystall noch so unregelmässig in Bezug auf Grösse der Flächen entwickelt sein. Alle sechs Pyramidenflächen zeigen gleiche Poldistanz ($\varphi = 54^\circ$); sie bilden einen Ring und gehören, soweit sich durch die Messung beurtheilen lässt, zu einer Gesamtform hexagonaler Symmetrie.

Wir bemerken, dass Prisma und Pyramide mit den Rhomboëdern zwischen beiden und der nicht ausgebildeten Polfläche (Basis) eine Zone (Radialzone) bilden. Wir bemerken das Kennzeichen der Zone, den Parallelismus der Kanten, durch Vergleichen mit p , wenn wir den Stift an V herabführen. Wir constatiren bei der Prismenzone den Parallelismus der Kanten durch Vergleichen mit p bei Drehen von H . Wir constatiren zugleich bei der Prismenzone, dass es genügt, in der Zonenebene (hier H) zu drehen, um die Flächen einzustellen; d. h. dass die Normalen einer Zone einen Ring bilden. H ist die Zonenebene, die Drehaxe von H die Zonenaxe. Stellen wir die Zonen des Krystalles der Reihe nach $\perp H$ (Justiren) und messen durch Drehen von H , so haben wir die einkreisige Messung.

Drehen wir den Quarz um, mit der andern Spitze nach oben, so finden wir die gleichen Abmessungen. Wir constatiren die Gleichheit an beiden Enden. H ist Symmetrieebene.

Beisp. 2. Setzen wir jetzt an Stelle des Quarz einen Topas, so constatiren wir wieder Gleichheit an beiden Enden (Polen). H ist Symmetrieebene. Wir haben wieder eine Prismenzone, die wir $\perp H$ stellen. Darin finden wir jedoch nicht mehr die Flächen in Abständen von 60° folgend, wohl aber paarweise in gleichen Abständen von zwei Symmetriepunkten (Pinakoiden), die um 90° von einander abstehen, und deren Gegenflächen. Durch eines der Pinakoide (Längsfläche) legen wir den ersten Meridian

($\varphi = 0$). Unter den Pinakoiden finden wir je zwei Flächen gleicher Poldistanz (ϱ), die sich diametral (180°) gegenüberliegen (Domen). In der Zwischenlage zeigen sich vier Flächen gleicher Poldistanz (ϱ); ihre Winkel an H ergeben sich, vom ersten Meridian gezählt, zu φ , $180^\circ - \varphi$, $180^\circ + \varphi$, $360^\circ - \varphi$, wie es die rhombische Symmetrie verlangt. Es sind rhombische Ternärformen (Pyramiden).

So verräth das Instrument unmittelbar die Symmetrie und damit das System des Krystalls.

Auch die **Unterschiede** in der Vertheilung der Flächenorte gegen die Erd- und Sternorte, wie sie sich in der Messung aussprechen, sind nicht ohne Interesse. Wir haben am Himmel keine Symmetrie und keine Zonen. Die Parallelkreise sind nicht durch zusammengehörige Sterne gleicher Poldistanz defnirt, wohl aber durch den täglichen Lauf jedes einzelnen Sternes.

Auf der Erde ist der Aequator Symmetrieebene. Orte gleicher Poldistanz bilden einen Ring gleichen Klimas. Die Zonen der Erde (kalte, gemässigte, heisse) haben das Wort Zone in die Krystallographie gebracht, sie entsprechen aber ausser der Aequatorzone nicht Zonen, sondern Ringen (Parallelkreisen) der Krystallographie. Im Gegensatz zur Krystallographie ist solch ein Ring continuirlich, nicht aus discreten Punkten bestehend. Auch die Ringe der Erde gehen stetig in einander über. Freilich kennen wir auch bei den Krystallen stetig entwickelte Ringe und Zonen; das sind solche, deren Flächen durch Rundung in einander übergehen. Sie sind Gegenstand unseres besonderen Interesses*).

Erdmessung und Krystallmessung. Wir haben zwei Arten der Erdmessung:

1. Triangulation, das ist das Bedecken der Erdoberfläche mit einem Netz sphärischer Dreiecke und Ausmessung dieser.
2. Ortsbestimmung nach Länge und Breite.

Erstere Art entspricht der einkreisigen Krystallmessung, letztere der zweikreisigen.

Varianten in der Ausführung des Instrumentes.

Modell 1 ist in Fig. 4 Taf. VI dargestellt.

Modell 2 gestattet eine Hebung von H mit dem Krystall, um Flächen sehr hoher Krystalle an das Plättchen bringen zu können.

Modell 3 (Fig. 2 Taf. VI). V ist nicht als Bügel ausgeführt, sondern mit S und p auf einer Axe A sitzend. Diese Form hat manche Vorzüge. Zur Demonstration am geeignetsten ist Modell 1.

*) Eine zum Druck fertige Abhandlung des Verfs. über krumme Flächen behandelt solche Gebilde.

Der niedere Preis, die geringe Empfindlichkeit gegen Verletzungen, ferner die Leichtigkeit und Handlichkeit des Instrumentes gestatten, es im weiteren Kreis einzuführen, es den Schülern in die Hände zu geben. Auch kann der Schüler sich selbst ein Instrument beschaffen. Damit ist für die Krystallographie viel gewonnen. Denn nur die eigene Beobachtung bringt das rechte Verständniss; ihre Verbreitung vermehrt die Zahl der Freunde und Mitarbeiter unserer Wissenschaft.

Ein zweikreisiges Anlegegoniometer (Modell 4) wurde zuerst nach meinen Angaben von Herrn Mechaniker Jos. Kettner in Prag (Náprstekgasse 243) ausgeführt, dann durch P. Stoß in Heidelberg (Jubiläumsplatz 70) verbessert und vereinfacht. Es ist in seiner jetzigen einfachen Form durch beide zum Preise von 32 Mark in guter Ausführung zu beziehen.

Modell 3 kostet etwa ebenso viel, Modell 2 ist etwas theurer.

Heidelberg, Juni 1895.