I. Über Krystallzeichnen unter Zugrundelegung stereographischer und gnomonischer Projectionen.

Von

S. L. Penfield † in New Haven ¹⁾.

Übersetzt von K. Stöckl.

(Mit 43 Textfiguren.)

In einer früheren Arbeit²⁾ beschrieb ich einige Methoden, nach denen Krystalle aus ihrer stereographischen Projection gezeichnet werden können. Nach der Veröffentlichung dieser Studie theilte Professor C. Viola³⁾ eine Methode mit, die auf anderen Prinzipien beruht, und die so einfach und geistreich ist, daß es der Mühe wert erscheint, sie hier kurz für jene Leser dieser Zeitschrift zu beschreiben, die sich für das Thema interessieren. Dieser Aufsatz kann auch als Ergänzung zu meiner früheren Abhandlung, die oben erwähnt ist, dienen.

Zur Auseinandersetzung der Methode wurde ein allgemeines Beispiel gewählt: Die Durchführung der Zeichnung eines Axinitkrystalles aus dem

1) Im Sommer d. J. (1906) sprach Professor Penfield der Redaction brieflich den Wunsch aus, daß seine kurz vorher im Americ. Journ. Sc. **21**, 206 f. erschienene Arbeit über Krystallzeichnen ins Deutsche übersetzt und, wie die Mehrzahl seiner früheren Publicationen, in diese Zeitschrift aufgenommen würde. Die Hoffnung, die er damals noch hegte, trotz der Krankheit, an welcher er bereits seit einigen Jahren litt, noch weiter wissenschaftlich arbeiten zu können, sollte sich nicht erfüllen! Am 42. August raffte den erst 50jährigen Forscher der Tod dahin und entriß unserer Wissenschaft einen ihrer hervorragendsten Vertreter, seinen Freunden einen der liebenswürdigsten Menschen und unserer Zeitschrift einen ihrer treuesten Mitarbeiter. So bildet der hier veröffentlichte Aufsatz den allzu frühen Abschluß einer reichen wissenschaftlichen Tätigkeit, durch welche dem Namen Penfields ein dauernder, ehrenvoller Platz in der Geschichte unserer Wissenschaft gesichert ist. P. Gr.

2) Amer. Journ. of Science 1905, (4) **19**, 39. Ausz. diese Zeitschr. am Schlusse dieses Heftes.

3) Viola, Grundzüge der Krystallographie, S. 29. W. Engelmann, Leipzig 1904.

triklinen System. Fig. 1 stellt eine stereographische Projection der gewöhnlichen Formen eines Axinites dar, $m\{110\}$, $a\{100\}$, $M\{1\bar{1}0\}$, $p\{111\}$, $r\{1\bar{1}1\}$ und $s\{201\}$. Der »Erste Meridian«, der die Lage von (010) bestimmt,

Fig. 4—5.

Entwicklung des Grundrisses und der Parallelprojection eines Axinites, triklinen System, unter Zugrundelegung einer stereographischen Projection.

ist, wie die Figur zeigt, so gewählt, daß er den Winkel von 20° mit der horizontalen Richtung SS' einschließt: dies ist ganz willkürlich; aber diese Wahl gibt einen guten Ausgangspunkt für die Durchführung der stereographischen Projection.

Fig. 2 gibt den Grundriß oder die orthographische Projection eines Axinitkrystalles, wie er uns, in der Richtung der verticalen Axe gesehen, erscheint. Sie kann aus der stereographischen Projection in folgender einfacher Weise abgeleitet werden: Die Richtung der parallelen Kanten, welche durch den Schnitt der Flächen in der Zone m, s, r, m' , Fig. 4, gebildet werden, ist parallel zu einer Tangente in m oder m' ; diese Richtung erhalten wir am leichtesten, wenn wir ein Lineal an m und m' legen und mit Hilfe eines 90° -Winkels die Richtung in die Fig. 2 übertragen, wie die Construction zeigt.

Die Construction der Fig. 3, welche Viola eine »parallele Perspective« nennt, soll zunächst auseinandergesetzt werden. Es ist keine schiefe Projection wie die gewöhnlichen Krystallzeichnungen von den Axen aus, sondern eine orthographische Projection auf eine Ebene, welche die Kugel, die in stereographischer Projection in Fig. 4 dargestellt ist, nach dem größten Kreise SES' schneidet; die Entfernung EC beträgt 40° . Die Zeichnungsebene kann natürlich jede beliebige Neigung und Lage haben; macht man aber die Entfernung CE gleich 40° und nehmen wir den ersten Meridian 20° von S an, so bringt die Horizontalprojection und die Parallelperspective dieselbe Wirkung hervor wie die gewöhnliche Methode, von den Axen ausgehend zu zeichnen, wo das Auge $9^\circ 28'$ aufgerückt und der Krystall um $48^\circ 26'$ gedreht ist¹⁾; tatsächlich sind die Bilder im Grundrisse und in paralleler Perspective (Fig. 2 und 3), selbst wenn sie in ganz großem Maßstabe gezeichnet werden, den entsprechenden Bildern des Axinit auf S. 73 meiner oben citierten früheren Abhandlung so täuschend ähnlich, daß das Auge kaum irgend einen Unterschied zwischen ihnen entdecken kann, selbst wenn das eine direct über dem anderen sich befindet.

Die Construction von Fig. 3 aus Fig. 4 ist am leichtesten zu entwickeln, wenn wir uns denken, daß die Kugel, in stereographischer Projection dargestellt, 80° um eine Axe gedreht ist, die S und S' verbindet, oder soweit, daß der größte Kreis SES' in horizontale Lage kommt. Nach dieser Drehung erscheint die stereographische Projection in Fig. 4 in der Lage von Fig. 4, und die parallel-perspectivische Zeichnung in Fig. 5 kann aus Fig. 4 genau ebenso abgeleitet werden wie Fig. 2 aus Fig. 4. Der größte Kreis durch m, s und r in Fig. 4 schneidet den getheilten Kreis in x , wohin der Pol einer verticalen Ebene in der nämlichen Zone fallen würde, wofern nur eine (künstlich construiert oder sonstwie) vorhanden ist; deshalb ist die Schnittgerade einer solchen Ebene mit der horizontalen Ebene und infolgedessen die Richtung der Zonenkanten parallel zur Tangente in x ; mit anderen Worten: Fig. 5 ist die Darstellung des einen Krystalles in jener Lage, welche in Fig. 4 in stereographischer Projection gegeben ist.

1) Amer. Journ. of Science 1905, (4) 19, 40.

Obleich es keine schwierige Sache ist, die Pole einer stereographischen Projection so zu übertragen, daß Fig. 4 aus Fig. 1 abgeleitet wird, so ist doch Zeit und Geschicklichkeit erforderlich, wenn die Aufgabe sorgfältig gelöst werden soll, und es ist durchaus nicht notwendig, die ganze Operation durchzuführen. Um die Richtung der Kanten einer Zone in Fig. 3 zu finden, z. B. msr , zeichne man in Fig. 1 zuerst den Punkt x , in dem die größten Kreise msr und SES' sich schneiden. Denken wir uns um die Axe SS' eine Drehung von 80° ausgeführt, so beschreibt hierbei der Pol x den Bogen eines Kleinkreises und fällt schließlich nach x' (die nämliche Lage wie x in Fig. 4); wir ziehen den Durchmesser durch x' und errichten darauf eine Senkrechte, wie die Zeichnung uns lehrt; diese Senkrechte ist die für Fig. 3 gewünschte Richtung. Ebenso werden die Durchstoßpunkte für die Zonen pr , MrM' und $MspM'$ mit SES' , welche bei w , y und z liegen, durch die Drehung um 80° nach w' , y' und z' übergeführt. Diese Überführung der Pole w , x , y und z in Fig. 1 in die Lagen w' , x' , y' und z' kann man leicht folgendermaßen durchführen:

1) Die Entfernungen der Punkte x , y , z und w von S oder von S' können durch den durchscheinenden Kleinkreistransporteur, den ich früher beschrieb¹⁾, gemessen und die Anzahl der Grade kann auf dem eingetheilten Kreise abgezählt werden.

2) Zuerst suchen wir den Pol P des größten Kreises SES' (90° von E oder 80° von C) mit Hilfe einer stereographischen Scala oder eines

stereographischen Transporteurs: eine Gerade durch P und x gezogen, schneidet den getheilten Kreis bei x' , so daß $S'x$ und $S'x'$ gleichviele Grade zählen.

Der Grund hierfür kann der Fig. 4 nicht leicht entnommen werden; denken wir uns aber die Projection um 90° um die Axe AA' gedreht, so daß S' mit dem Mittelpunkt zusammenfällt, so haben die wichtigen Pole und die größten Kreise, welche wir betrachten, die Lage wie in Fig. 6, wo P der Pol des

Fig. 6

größten Kreises $ES'E'$, C' jener des größten Kreises $AS'A'$ ist und x wie

¹⁾ Diese Zeitschr. 1902, 35, 9, Taf. I.

in Fig. 4 um $44\frac{1}{4}^{\circ}$ von S' absteht. Aus der Symmetrie der Fig. 6 folgt deutlich, daß eine Ebene, welche bei C' , P und x berührt, den größten Kreis $AS'A'$ so schneidet, daß die Entfernungen $S'x$ und $S'x'$ einander gleich sind. Die Ebene durch C' , P , x und x' müßte in ihrer Verlängerung die Kugel nach einem Kleinkreise schneiden, der in der Figur gezeichnet ist; da aber dieser Kreis durch C' , den Pol der stereographischen Projection in Fig. 4 — Gegenpunkt von C — geht, so muß er sich notwendig in Fig. 4 als Grade projicieren, die durch P und x geht¹⁾.

3) In Fig. 6 liegt B mitten zwischen E und A' , $BS'B'$ ist ein größter Kreis und W , 40° von C , ist sein Pol; aus der Symmetrie der Figur folgt, daß ein größter Kreis durch W und x den größten Kreis $AS'A'$ so schneidet, daß die Entfernungen $S'x$ und $S'x'$ gleich sind. Übertragen wir obige Beziehungen auf Fig. 4, so ist W , 40° von C , der Pol des größten Kreises SBS' , und ein größter Kreis durch W und x trifft bei x' . Es ist jedoch nicht notwendig, den größten Kreis durch W und x zu zeichnen, wenn man den Punkt x' auf dem getheilten Kreise finden will: Man bringe den Mittelpunkt des »Größten Kreis«-Transporteurs, den ich beschrieb²⁾, zur Deckung mit dem Punkte C , und drehe den Transporteur so lange, bis W und x auf den gleichen größten Kreis fallen, dann erscheint der Punkt x nach x' verschoben und die anderen Punkte w' , y' und z' können auf ähnliche Weise ermittelt werden.

Die soeben beschriebenen drei Methoden, den Punkt x nach x' , z nach z' usw. überzuführen, sind fast gleich einfach; es soll darauf hingewiesen werden, daß man bei Ausrüstung mit den durchscheinenden stereographischen Transporteuren, wenn die Pole der Flächen eines Krystalles in stereographischer Projection eingezeichnet sind, nur den größten Kreis SES' zu zeichnen und einen Punkt, W oder P zu bestimmen braucht, um die Richtungen zu erhalten, welche zum Entwurfe einer Parallelperspective nötig sind, entsprechend der Fig. 3. So kann mit dem »Größten Kreis«-Transporteur der größte Kreis durch die Pole einer Zone gezogen, sein Schnitt mit SES' bestimmt und von S oder S' mit Teilzirkeln eingeteilt werden; dann ist der größte Kreis durch den eben gefundenen Schnittpunkt und W bestimmt und es ist gefunden, wo der eingeteilte Kreis geschnitten wird, wenn man die gewünschte Richtung mit Hilfe eines Lineals und eines 90° -Winkels, wie schon erklärt, hat.

Von vielen wird die gnomonische Projection zur Darstellung von krystallographischen Beziehungen vorgezogen, und es erscheint mir deshalb am besten, zu zeigen, wie leicht die eben auseinandergesetzten Methoden dieser Projectionsart angepaßt werden können. Dieser Gegenstand wurde

1) Amer. Journ. of Science 1902, (4) 13, 247—249, 269—274.

2) Amer. Journ. of Science 1904, (4) 11, 21—22. Diese Zeitschr. 35, 44.

sehr sorgfältig von Goldschmidt¹⁾ und G. F. H. Smith²⁾ behandelt; in-
folgedessen könnten die folgenden Zeilen eigentlich überflüssig erscheinen;
aber obgleich die Schlußresultate im wesentlichen sich mit denen der so-
eben erwähnten Autoren decken, so ist doch die hier gegebene Darstellung
und Entwicklung etwas anders; deshalb hoffe ich, daß einige von den
Ideen den Studierenden der Krystallographie nützen könnten.

Als Beispiel habe ich gewählt, eine einfache Combination des Baryts
zu zeichnen. Die in Fig. 7, 8 und 9 dargestellten Formen sind $c\{001\}$,

Fig. 7—9.

Entwicklung des Grundrisses und der Parallelperspective eines Baryts, rhombisches
System, unter Zugrundelegung einer gnomonischen Projection.

$m\{110\}$, $o\{011\}$ und $d\{102\}$. Die Lage der Pole in der gnomonischen
Projection gibt Fig. 7, wo, wie in Fig. 1, der erste Meridian den Winkel von
 20° mit der horizontalen Richtung SS' einschließt. Ein einfaches Hilfs-
mittel, die Pole o und d auf ihren Meridianen festzulegen, gibt die stereo-
graphische Scala Nr. 3, wie ich sie beschrieb³⁾; und zwar müssen wir mit

1) Goldschmidt, diese Zeitschr. 1891, **19**, 352.

2) G. F. H. Smith, diese Zeitschr. 1904, **39**, 142.

3) Amer. Journ. of Science 1901, (4) **11**, 7. Diese Zeitschr. **35**, 6.

dieser Scala die doppelten Winkel $c \wedge o$ und $c \wedge d$ abtragen; denn die stereographischen und die gnomonischen Scalen sind von einer Tabelle der natürlichen Tangenten abgeleitet, wobei 20° der ersteren Scala gleich 40° der letzteren sind. Die Pole des Prismas m fallen bei der gnomonischen Projection ins Unendliche, ebenso die Punkte S und S' (siehe Fig. 4). In jeder Ebene, wie Fig. 8, steht die Richtung einer Kante, in der sich zwei Flächen schneiden, rechtwinkelig zu einer Geraden, welche die Flächenpole verbindet, so wie es in den Fig. 7 und 8 durch eine Richtung angedeutet ist, die rechtwinkelig zur Geraden steht, welche m'' und c verbindet.

Die Ansicht in Parallelperspective, Fig. 9, ist eine orthographische Projection (vergl. Fig. 4 und 3); sie ist gezeichnet auf eine Ebene, die durch S und S' geht, und die Kugel, welche der gnomonischen Projection zugrunde liegt, nach einem größten Kreise schneidet¹⁾, der (Fig. 7) durch E geht und parallel zu SS' gezogen ist, wobei die Entfernung cE 40° beträgt: diesen größten Kreis nennt Goldschmidt die Leitlinie. Wenn man deren Schnitt z. B. mit der Geraden durch m''' und c , m , d (Fig. 9) finden will, so bestimme man, wo die größten Kreise durch die Flächenpole die Leitlinie schneiden; so erhalten wir den Schnitt der Geraden durch m''' und c bei x und jenen durch m und d (durch d parallel zu mm'' , da m und m'' im Unendlichen liegen) bei y . Zunächst denken wir uns die Punkte x und y wie in Fig. 4 nach x' und y' verlegt; die letzteren Punkte liegen jedoch im Unendlichen: die Verlegung wird ausgeführt, indem man zuerst den sogenannten Winkelpunkt W von Goldschmidt bestimmt, 40° von c in Fig. 7 und, wie in Fig. 4, 90° von einem Punkte B , der ebenso viele Grade von E als von A' absteht (vergl. Fig. 6). Von den drei Methoden, die auf S. 4 und 5 zur Verlegung der Punkte x und y nach x' und y' beschrieben wurden, kann die dritte in der gnomonischen Projection leicht angewandt werden. Größte Kreise, oder gerade Linien, durch W und x , und W und y , Fig. 7, würden, ins Unendliche verlängert, x' und y' bestimmen; dies erreichen wir, indem wir Gerade parallel zu Wx und Wy durch den Mittelpunkt ziehen. Es ist jedoch nicht notwendig, die Linien Wx und Wy zu zeichnen, und es ist auch nicht erforderlich, die Parallelen durch den Mittelpunkt zu construieren; zur Auffindung der Richtung der Kanten $m''' \wedge c$ und $m \wedge d$ braucht man nur eine Gerade von W nach x , bzw. von W nach y zu ziehen und mit einem Winkel von 90° die Richtungen auf Fig. 9 zu übertragen, wie es in den Zeichnungen angedeutet ist. Die Grundsätze sind genau die gleichen, wie sie für die Beziehungen zwischen den Fig. 4 und 3 entwickelt wurden.

Wie im Falle der stereographischen Projection ist es klar, daß, wenn

¹⁾ In der gnomonischen Projection werden alle größten Kreise durch Gerade dargestellt.

die Pole eines Krystalles in der gnomonischen Projection gezeichnet sind, nur die Zeichnung einer einzigen Linie, der Leitlinie, und eines einzigen Punktes, des Winkelpunktes W , erforderlich ist, um alle möglichen Richtungen für den Grundriß und für die Parallelperspective zu finden, entsprechend den Fig. 8 und 9.

Fig. 10

In jeder parallelperspectivischen Zeichnung, wie in Fig. 3 und 9, ist es wichtig, sich vor Augen zu halten, daß Verkürzungen von verticalen Strecken vorkommen, da ja die Projection eine orthographische ist und auf eine geneigte Fläche ausgeführt wird. Wenn jemand eine bestimmte Höhe des Krystalles oder eine gegebene Länge der verticalen Axe c , $-c$, Fig. 10, im Sinne hat, und wenn XY die Spur der Ebene ist, auf welche die Projection ausgeführt wird, so würde die Länge c , $-c$ als c' , $-c'$ verkürzt erscheinen¹⁾. Die Verkürzung entnimmt man am besten einer graphischen Darstellung, oder man hat die Länge c , $-c$ mit $\sin 40^\circ$ zu multiplicieren, vorausgesetzt, daß E , wie in Fig. 4 und 7, 40° vom Mittelpunkte absteht.

Fig. 11 und 12.

Fig. 11

Fig. 12

Entwicklung der Parallelperspective eines Augits, gezeichnet auf eine Ebene parallel zu $s\{111\}$.

Die eben besprochenen Zeichnungsmethoden liefern Figuren in Parallelperspective, wie wir sie in den Abhandlungen der Mineralogie und Kry-

1) Siehe Fig. 5, S. 44 von Amer. Journ. of Science 1905, (4) 19.

stallographie gewöhnlich finden; die Zeichnenebene soll aber, wie bereits festgesetzt wurde, eine ganz beliebige Lage haben und es ist vielleicht ganz am Platze, kurz an einem Beispiele zu zeigen, wie leicht die Darstellungsmethoden so geändert werden können, daß sie den verschiedenen Anforderungen genügen. Fig. 11 stellt eine stereographische Projection eines Augits dar; die Formen seien a , b , m und s {111}; es ist die Aufgabe gestellt, daß der Krystall in Parallelperspective auf eine Ebene gezeichnet werden soll, die zur Pyramidenfläche s {111} parallel ist. Durch s ziehen wir einen Durchmesser; auf demselben suchen wir E , 90° von s ; dann wird der größte Kreis SES' gezeichnet: unter den Bedingungen ist der Pol, der P in Fig. 4 entspricht, s in Fig. 11. Solche Richtungen, wie die Kanten $a' \wedge s$ und $m'' \wedge s'$, findet man in der Parallelperspective Fig. 12, indem man in Fig. 11 den Durchstoßpunkt der größten Kreise $a's$ und $m's'$ mit SES' (bei x und y) sucht und dann die in der Figur dargestellte Zeichnung durchführt, so wie oben auseinandergesetzt wurde.

In Fig. 12 sind die ebenen Winkel von s die nämlichen wie am wirklichen Krystalle, und die Winkel oder ihre Supplemente können jederzeit auf dem größten Kreise SES' der stereographischen Projection gemessen werden. Wir wollen den Winkel messen, der von den Kanten $a's$ und $m's$ in Fig. 12 gebildet wird; dazu haben wir in Fig. 11 die größten Kreise durch die Pole rechtwinkelig zu den Kanten; deren Schnittpunkte mit SES' sind bei x und w , und die Winkelentfernung von x nach w beträgt nach Messungen mit dem stereographischen Transporteur 47° ; dies ist das Supplement des gesuchten Winkels, der mithin eine Größe von 133° hat.

Sicherlich sind die Methoden, den Grundriß und die Parallelperspective von einer stereographischen oder gnomonischen Projection aus zu zeichnen, im Anfange jedem zu empfehlen, sowohl wegen ihrer Einfachheit als auch, weil die vielen Constructionslinien wegfallen, welche sonst häufig beim Zeichnen von den Axen aus erforderlich sind. Um mich von den verschiedenen Vorzügen der einzelnen Krystallzeichnungsmethoden zu überzeugen, verwendete ich besondere Mühe darauf, mit den in dieser Abhandlung auseinandergesetzten Methoden zu arbeiten, und ich glaube, daß die Meisten, namentlich Anfänger, leichter von den Axen aus zeichnen, während jedoch vollendete Zeichnungen in den meisten Fällen rascher und mutmaßlich mit größerer Genauigkeit nach den oben auseinandergesetzten Methoden hergestellt werden. Für einen Studierenden sind sie bei der Entwicklung der Symmetrie eines Krystalles während der Herstellung der Zeichnung sicher von Wert.

Bei der Behandlung eines schwierigen Problems, z. B. im triklinen System, kann man sich wohl fragen, ob es leichter ist, die Axen zu drehen und von diesen aus zu zeichnen oder aber, eine stereographische oder gnomonische Projection zu entwerfen und davon aus zu zeichnen; die Lösung dieser Frage wird einigermaßen von den gegebenen Daten abhängen

und besonders von der Vertrautheit mit der einen oder anderen Methode. Hat jemand, wie es oft der Fall ist, eine stereographische oder gnomonische Projection zum Zweck seiner Studien entworfen, so ist es sicherlich leichter, von diesen Projectionen ausgehend zu zeichnen, als erst die Axen zu drehen und dann erst weiter zu zeichnen. Jeder, der in die Lage kommt, Krystalle zu zeichnen, wird wohl daran tun, sich mit jenen Methoden vertraut zu machen, die auf dem Gebrauche der stereographischen und gnomonischen Projectionen beruhen; denn sie können gerade dann mit Nutzen verwendet werden, wenn es schwierig oder unmöglich wird, von den Axen aus zu zeichnen. Manchmal stößt man bei Zwillingskrystallen auf ernstliche Schwierigkeiten, wenn man, von den Axen aus zeichnend, die Durchdringung der einzelnen Flächen darstellen soll; die Schwierigkeiten aber werden leicht überwunden, wenn man von den Projectionen ausgeht, vorausgesetzt, daß die Pole des Zwillingskrystalles gezeichnet sind. Die Projectionen lassen sich auch dann wohl anwenden, wenn man sonderbare Formen oder unbekannte Krystalle zeichnen soll, deren Ebenen auf die Axen nicht bezogen werden können.

Jedem, der die hier entwickelten Zeichnungsmethoden, geht er nun von der einen oder anderen Projectionsart aus, viel anwenden will, ist der Gebrauch einer T-Schiene und in Verbindung damit besonderer Dreiecke zu empfehlen, welche in Fig. 43 dargestellt sind und welche jenen ähnlich sind, die ich vor kurzem beschrieb¹⁾.

Fig. 43.

Specialwinkel zum Gebrauche in Verbindung mit einer T-Schiene für Krystallzeichnen unter Zugrundelegung stereographischer und gnomonischer Projectionen.

Das Zeichenpapier wird so auf einem Brett befestigt, daß die T-Schiene die Richtung SS' (Fig. 4 und 7) gibt. Ein 20° , 90° -Winkel (Fig. I) gibt

1) Amer. Journ. Science 1905, 4) 19, 53, Fig. 23.

die Richtung des ersten Meridians der beiden Projectionen und in einer beliebigen Ebene die Richtung der von vorn nach hinten gehenden oder der a , $-a$ -Axe, und, das triklone System ausgenommen, die Richtung der von rechts nach links gehenden oder der b , $-b$ -Axe. Ein Dreieck mit den Winkeln 90° , $25^\circ 30'$ (Fig. II) dient zur Vereinigung einander entsprechender Punkte von Zeichnungen im Grundriß und in Parallelperspective, und zwar parallel zur c , $-c$ -Axe; dasselbe gibt die von vorne nach rückwärts gerichtete oder die a , $-a$ -Axe in jeder parallel-perspectiven Figur, wenn die Axe 90° mit der Verticalen bildet. Ein abgestumpftes Dreieck mit dem Winkel $3^\circ 37'$ (Fig. III) gibt die Richtung der von rechts nach links gehenden oder der b , $-b$ -Axe parallel-perspectiven Figuren, vorausgesetzt, daß man es nicht mit dem triklinen System zu tun hat. Ein Dreieck mit den Winkeln von $8^\circ 17'$ und $44^\circ 34'$ (Fig. IV) gibt die Richtungen zweier horizontaler Axen in dem hexagonalen System, während man die dritte Axe mit dem Dreieck III erhält. Endlich empfiehlt sich die Benutzung eines Kreisbogens (Fig. V) zur Zeichnung des größten Kreises SES' (Fig. 1). Die Winkel der Dreiecke in Fig. 13 hängen von jenen Annahmen ab, welche zur Construction der Fig. 1 und 7 gewählt sind; nämlich, der erste Meridian 20° von S und E 10° vom Projectionsmittelpunkte. Werden andere Daten zugrunde gelegt, so können die Winkel leicht berechnet werden.

Ich fand Dreiecke, welche aus starkem Carton verfertigt waren, in jeder Weise zweckdienlich für Bleistiftzeichnungen; wenn sie so geschnitten waren, wie z. B. Fig. 13 I zeigt, so daß nur die beiden Enden der Grundlinie die T-Schiene berühren, so können sie zuerst annähernd richtig hergestellt werden und dann durch Abreiben mit Glaspapier am einen oder anderen Ende vollständig genau justiert werden.

Noch ein Wort zu Fig. 8: Wenn man die Richtung $c^{\wedge}m'''$ hat und die orthorhombische Symmetrie des Krystalles kennt, so können die noch zu ziehenden Geraden alle mit dem Winkel I gefunden werden. Von Fig. 8 aus kann man mit Hilfe der Winkel II und III die Fig. 9 durch Ermittlung einer einzigen Richtung, z. B. $d^{\wedge}m$ construieren. Jeden, der sich mit dieser Art von Krystallzeichnen beschäftigt, helfen obige Winkelinstrumente die Zeit sparen und außerdem gestatten sie eine erhöhte Genauigkeit im Arbeiten.