

Die Theorie der Beobachtung im convergenten Licht und Vorschläge zur Verbesserung der Axenwinkelapparate.

Von

E. A. Wülfing in Tübingen.

Mit Taf. VII—X und 3 Figuren im Text.

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung	407
II. Theorie der Beobachtung im convergenten Licht	409
1. Gang der Lichtstrahlen bei aplanatischen Linsen	410
2. Gang der Lichtstrahlen durch den GROTH-NÖRREBERG'schen Polarisationsapparat, sowie durch den LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparat	412
3. Beleuchtung mit monochromatischem Spectrallicht im Gegen- satz zur Beleuchtung mit Lampen- oder Wolkenlicht	414
4. Function der Linsen e und e_1 diesseits und jenseits des Polarisators	416
III. Vorschläge zur Construction eines neuen Axenwinkelapparates	420
1. Veränderliche Vergrößerung des Beobachtungsfernrohres	421
2. Einstellung der Plattennormale durch Autocollimation	425
3. Justirung des Fernrohres auf die Axe des Limbus	426
4. Möglichst grosser Abstand von Fernrohrobjectiv und Colli- matorlinse	426
5. Möglichst grosse Apertur	426
6. Achromatische und aplanatische Linsen	427
7. Beleuchtung mit einem Selbstleuchter, sowie auch mit monochromatischem Spectrallicht, welches nicht durch eine matte Glastafel in eine Art von Selbstleuchter umgewandelt ist	430
8. Forderungen, welche das Stativ betreffen	431
IV. Gang der Lichtstrahlen in einem Axenwinkelapparat mit Fern- rohr von 16fach veränderlicher Vergrößerung	433

Anmerkungen	Seite
1. zu p. 407. Turmalinzange betreffend	434
2. zu p. 408. Widerspruch zwischen Fernrohrvergrößerung und Limbustheilung bei einigen Axenwinkelapparaten . . .	435
3. zu p. 410. Aequivalentbrennweite des Objectivs des GROTH- NÖRRENBURG'schen Apparates	437
4. zu p. 413. Aequivalentbrennweite des Objectivs des LIEBISCH- FUßS'schen Axenwinkelapparates	438
5. zu p. 417. V. v. LANG's und GROTH's Erklärung der Linsen e und e ₁ diesseits und jenseits des Polarisators	440
6. zu p. 417. Einfluss der Kalkspathmasse des Polarisators auf den Gang der Lichtstrahlen	442
7. zu p. 425. Dimensionen der Hilfslinse im Fernrohr mit veränderlicher Vergrößerung	443
8. zu p. 429. Wunsch nach einer zwei- oder dreifach verkitteten Linse von etwa 46°—48° Apertur und möglichst geringer Dicke. Dimensionen des Objectivs im Fernrohr mit ver- änderlicher Vergrößerung	445

I. Einleitung.

Die Instrumente, welche zur optischen Untersuchung der Mineralien dienen und hauptsächlich aus dem Mikroskop, dem Goniometer und dem Axenwinkelapparat bestehen, sind mit ihren zahlreichen Nebenapparaten im letzten Jahrzehnt ausserordentlich vervollkommenet worden und erfahren noch fortwährend wesentliche Veränderungen und Verbesserungen. In ganz besonderem Maasse gilt dies für die zu petrographischen und mineralogischen Untersuchungen dienenden Mikroskope, bei denen es fast zu wünschen wäre, dass die fortwährenden Neuconstructions endlich einmal zum Abschluss gelangten und sich auf weniger zahlreiche Typen beschränkten.

Wenn hier des Guten vielleicht etwas zu viel geschehen ist, so lässt sich nicht das Gleiche von den Apparaten zum Messen des Winkels der optischen Axen behaupten. Freilich sind auch hier seit der Zeit, dass MARX die Turmalinzange (vergl. Anmerkung 1 p. 434) zur Beobachtung der Erscheinungen im convergenten Licht verwandte, manche Verbesserungen eingeführt worden. Derartige Verbesserungen beziehen sich aber vielfach nur auf die mechanischen und nicht auch auf die optischen Theile der Instrumente. Dabei scheint man meistens übersehen zu haben, dass diese optischen Theile der Instrumente zur Beobachtung im convergenten Licht, wie sie besonders von AMICI (SOLEIL), DOVE und NÖRRENBURG erfunden wurden, hauptsächlich zur Beobachtung und nicht zur eigentlichen Messung der Axenwinkel bestimmt waren. Das Hauptgewicht wurde von Anfang an bis in die neueste Zeit bei diesen Demonstrationsapparaten auf ein möglichst grosses Gesichtsfeld gelegt, d. h. es wurden zur Beobachtung Fernrohre von ganz aussergewöhnlich grosser Apertur (bis 130° in Luft) und entsprechend starker Verkleinerung, die bei den eigentlichen NÖRRENBURG'schen Instrumenten etwa zwischen fünf und zehn schwankt,

angewendet. Mit einem solchen Fernrohr kann man aber, wenn man die verwaschenen Umrissse der Bilder nämlich die Lemniscaten und Hyperbelscheitel berücksichtigt, im günstigsten Fall kaum auf den zehnten Theil eines Grades genau einstellen, und es ist daher nicht richtig, wenn man solche Instrumente mit Theilkreisen von einer Ablesungsgenauigkeit bis auf einzelne Bogenminuten versieht. Dieser Vorwurf trifft besonders den NÖRRENBERG'schen Apparat, welchen DES CLOIZEAUX zur Messung der Axenbilder abänderte¹ und zu dem Zweck mit einem Theilkreis von jener Genauigkeit versah (vergl. Anmerkung 2 p. 435), während es sonst als ein durchaus glücklicher Griff bezeichnet werden muss, dass DES CLOIZEAUX den einmal vorhandenen Demonstrationsapparat auch zu Messungen verwandte, die trotz ihrer nicht allzugrossen Genauigkeit ihren Werth behalten.

Bevor ich mich auf Vorschläge zur Verbesserung der Axenwinkelapparate einlasse, möchte ich die Theorie, welche bei der Beobachtung im convergenten Licht in Frage kommt, etwas weiter verfolgen, als dies von REUSCH im Jahre 1858² geschehen ist. 1891 hat allerdings CZAPSKI „die dioptrischen Bedingungen der Messung von Axenwinkeln mittelst des Polarisationsmikroskops“ ermittelt³. Leider aber hat er sich dabei auf rein theoretische Erörterungen beschränkt und die Resultate seiner Untersuchungen nicht auch an einem praktischen Beispiel verwerthet. Ich will nun meine Betrachtungen hauptsächlich mit Rücksicht auf die Instrumente anstellen, welche heute wohl am weitesten verbreitet sind, nämlich auf das von GROTH 1872 zuerst beschriebene und von FUESS construirte NÖRRENBERG'sche Instrument⁴, und auf den nach Angaben LIEBISCH's ebenfalls durch FUESS construirten Axenwinkelapparat⁵.

¹ Ann. des Mines. (6.) 6. 1864. p. 557—595. Taf. VI; auch Pogg. Ann. 126. 1865. p. 387—424. Taf. V.

² REUSCH, Über Linsen und Linsensysteme zur Beobachtung der Farbenringe im polarisirten Lichte. 34. Vers. d. Naturf. u. Ärzte. Karlsruhe 1858. p. 160—163. Mit einer Tafel.

³ Dies. Jahrb. Beil.-Bd. 7. 1891. p. 506—515.

⁴ Pogg. Ann. 144. 1872. p. 34—53.

⁵ Dies. Jahrb. 1885. 1. p. 180; s. auch LIEBISCH, Physik. Krystallogr. 1891. p. 489—491; ferner LIEBISCH, Grundriss der Krystallogr. 1896. p. 389—391.

Von besonderer Wichtigkeit scheint mir dabei zu sein, dass die Art der Beleuchtung berücksichtigt wird, weil man bei der Beleuchtung mit Spectrallicht (ohne Anwendung einer matten Glastafel) auf wesentlich andere Verhältnisse angewiesen ist als bei der Beleuchtung mit einem Selbstleuchter, wie dieselbe im Lampen- oder Wolkenlicht zur Anwendung gelangt.

II. Theorie der Beobachtung im convergenten Licht.

In den Lehrbüchern der Mineralogie und Physik hat man sich bis dahin fast immer darauf beschränkt, die Erklärung des Zustandekommens der Erscheinungen im convergenten Licht so weit zu verfolgen, als dies REUSCH 1858 gethan hat, wobei der Gang der Strahlen eigentlich nur von der hinteren Brennebene des Beleuchtungssystems bis zur vorderen Brennebene des Fernrohrobjectivs verfolgt ist¹. Um aber den Vorgang vollständig zu begreifen, ist es nothwendig, die Strahlen noch etwas weiter, nämlich einerseits von der Leuchtquelle, andererseits bis zur Pupille des beobachtenden Auges zu verfolgen.

Abgesehen von obiger Einschränkung weist nun REUSCH bereits darauf hin, dass seine Erläuterungen wohl geeignet sein können, die Wirkung der Linsen in diesen Apparaten der Hauptsache nach zu erklären, wobei aber nicht vergessen werden dürfe, dass hierbei durchweg den Linsen Eigenschaften unterstellt worden seien, welche streng genommen nur für sehr kleine Winkel der Strahlen mit der Linsenaxe Geltung hätten, während hier Winkel in Betracht kämen, die zum Theil wenig von einem Rechten verschieden seien. Wieviel mehr muss diese Bemerkung Geltung bei den modernen Apparaten haben, bei denen die Apertur der Linsen weit über einen Rechten nämlich bis zu etwa 130° getrieben worden ist, und bei denen infolge dessen die Brennweite für Randstrahlen ausserordentlich stark von der Brennweite für centrale Strahlen abweicht, soweit man hier überhaupt noch von einer Brennweite reden kann.

¹ Soweit mir bekannt, giebt nur LIEBISCH in seiner Physikalischen Krystallographie 1891, p. 453 die Einzelheiten des Ganges der Lichtstrahlen in dem AMICI'schen Polarisationsmikroskop wieder.

1. Gang der Lichtstrahlen bei aplanatischen Linsen.

Um den störenden Einfluss der unvollkommenen Linsenconstructionen zu begreifen, möge zuerst der Gang der Lichtstrahlen bei einem Linsensystem verfolgt werden, welches selbst bei recht grosser Apertur noch aplanatisch sei. Wegen des späteren Vergleichs wähle ich dazu ein Linsensystem, dessen Brennweite für seine ganze Öffnung so gross ist, wie die Brennweite der randlichen Strahlen in dem viertheiligen Linsensatz des GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparates. (Über die Ermittlung dieser Brennweite s. Anmerkung 3 p. 437.) Für diesen hypothetischen Fall ist der Gang der Lichtstrahlen in Fig. 1 und 2 Taf. VII in $\frac{1}{2}$ der wirklichen Grösse gezeichnet. Fig. 1 stellt den Gang der Strahlen für einen grossen, Fig. 2 für einen kleinen Axenwinkel dar. Der Gang der einzelnen Strahlen ist nach den angenommenen Brennweiten der Linsen und ihren Hauptebenen H_I und H_{II} in quantitativ richtiger Weise construirt¹. Von den ganzen Strahlenkegeln, welche auf jeden Punkt der Ebene der Collimatorblende KK auffallen, sind fünf Einzelstrahlen gezeichnet, welche beiläufig bemerkt je 2° von einander abweichen. Man erkennt sofort, dass das Auge, welches etwa bei A liegt, nur einen kleinen Theil der Strahlen 1—5 und I—V wegen der nur etwa 4—5 mm grossen Pupille aufzunehmen vermag. Das Auge würde bei dieser hypothetischen Annahme der Linseneigenschaften das ganze Axenbild übersehen, und zwar, wenn es gegenüber und nahe bei α sich befände, mit Hilfe der Strahlen 1 und I, wenn es gegenüber β sich befände, mit Hilfe der Strahlen 2 und II u. s. w. Es würde also, da die Strahlen 1 und I, 2 und II, 3 und III u. s. w. beim Eintritt in die Collimatorblende KK einander parallel sind, eine Beleuchtung mit parallelem Licht, also in praxi eine kleine Lichtquelle in grosser Entfernung genügen (nicht aber etwa auch eine kleine Lichtquelle in kleiner Entfernung, cf. p. 414), um nicht nur ein Axenbild in der Bildebene des Fernrohres (welches durch eine

¹ Für die Ocularlinse O wurde hier wie in allen andern noch folgenden Constructionen der ideale Fall vorausgesetzt, dass die Linse für ihre ganze Öffnung die gleiche Brennweite habe, da hier die Störungen von geringerer Bedeutung sind.

schematische Axenbildfigur angedeutet ist) entstehen, sondern auch Strahlen von diesem Bilde, und zwar von allen Theilen, ins Auge treten zu lassen. Soweit die Pupille des Auges nicht als Blende wirkt, sieht man die Erscheinungen im convergenten Licht wie dieselben von einem grösseren Theil des Krystalls hervorgerufen werden. Man könnte glauben, bei sehr schlecht polirten Präparaten hierdurch einen gewissen Vortheil zu gewinnen, weil auf der grossen Fläche sich da und dort einige bessere Stellen finden können, die dann für die Hervorrufung des Axenbildes allein in Thätigkeit treten. Die rauhen Stellen hellen aber auf alle Fälle das Gesichtsfeld unnöthig auf, und diese Aufhellung ist immer nachtheilig. (Vergl. Anmerkung 1 p. 435 die Bemerkung über HERSCHEL's Turmalinzange.)

Wendet man eine künstliche Lichtquelle an, welche in geringer Entfernung vor dem Instrument aufgestellt ist und eine solche Ausdehnung hat, dass sie noch Strahlen in der Richtung 1—5 und I—V aussenden kann, so liegt der einzige Vortheil dieser breiten Lichtquelle darin, dass — immer aplanatische Systeme vorausgesetzt — das Auge sich von α bis ϵ hin und her bewegen darf, ohne den Gesamteindruck des Bildes zu verlieren. Wie weit diese Bewegung stattfinden kann, hängt schliesslich von der Grösse des Analysators ab. Wenn man mit nahezu parallelem Licht beleuchtet, so geht man natürlich dieses Vortheils, das Auge soweit hin und her bewegen zu können, verloren. Beleuchtet man z. B. mit Licht, welches nur die Strahlen 1 und I oder nur 2 und II oder nur 3 und III u. s. w. und die ihnen benachbarten aussendet, so muss das Auge in der Nähe des Punktes α oder β oder γ liegen; indessen darf es dabei immer um den Durchmesser der Pupille hin und her rücken. Etwas anders ist es mit dem Verschwinden eines Theiles der Bilder bei ganz kleinen Bewegungen des Auges, worauf p. 416 näher eingegangen wird. Entfernt man diese künstliche Lichtquelle weiter vom Instrument, so ist damit zunächst keine Verminderung der Helligkeit des Bildes verbunden, sondern es wird nur der Bewegungsraum des Auges beschränkt. Eine Schwächung der Helligkeit des Bildes durch eine Lichtquelle von vorgeschriebener Leuchtkraft würde erst dann eintreten, wenn die von dem äussersten Rand der Licht-

quelle ausgesandten Strahlen nach dem Durchgang durch alle Linsen die Pupille des Auges nicht vollständig ausfüllten. Bei den in Fig. 1 und 2 Taf. VII gezeichneten Verhältnissen würde z. B. eine 35 mm breite Flamme in 100 mm ebenso wie in 500 mm Entfernung von der Fläche KK die gleiche Helligkeit des Axenbildes hervorrufen. Es treten nämlich bei günstigster Lage des Auges allenfalls je drei in der Figur benachbart gezeichneten Strahlen in einem Abstand von etwa 4 mm ins Auge und solche drei Strahlen können noch von einer Flamme von 35 mm Ausdehnung in 500 mm Entfernung ausgesandt werden. Bringt man die Flamme aber näher an den Apparat, so wird dieselbe nicht in ihrer ganzen Ausdehnung Strahlen ins Auge senden und daher auch keinen grösseren Helligkeitseindruck hervorrufen¹.

2. Gang der Lichtstrahlen durch den GROTH-NÖRRENBERG'schen Polarisationsapparat, sowie durch den LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparat.

Bis dahin ist der Vorgang so weit verfolgt worden, als dies bei aplanatischen Linsen und Linsencombinationen gestattet ist, wo die GAUSS'schen Vorstellungen über die Hauptebenen also durchaus anwendbar sind. Wesentlich anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir den Gang der Lichtstrahlen so verfolgen, wie er in den zur Beobachtung im convergenten Licht dienenden Instrumenten wirklich auftritt.

Bei dem GROTH-NÖRRENBERG'schen Apparat verfolgen die Lichtstrahlen ihren Gang für grosse und kleine Apertur, wie

¹ Es wurde immer angenommen, dass die Grösse des Krystalls in keiner Weise den Gang der Lichtstrahlen hindert. Damit dies der Fall ist, muss der Krystall bei 1 mm Dicke und den übrigen hier angenommenen Maassen, also bei einem scheinbaren Axenwinkel von etwa 120° , schon mindestens $2\frac{1}{2}$ mm und bei 2 mm Dicke sogar 4 mm breit, d. h. innerhalb dieser Ausdehnung vollkommen klar sein. Kleinere Dimensionen werden zunächst nicht die Helligkeit, sondern nur den Bewegungsraum des Auges beschränken; nimmt die Grösse des Krystalls weiter ab, so wird bei künstlicher Beleuchtung auch eine Verminderung der Helligkeit eintreten können, weil dann eben von den Strahlen, welche die Pupille des Auges ausfüllen könnten, nur ein Theil durch den Krystall geht. Bei Beleuchtung mit Sonnenlicht oder Spectrallicht ist dies nicht sobald zu befürchten, da die den Krystall durchlaufenden Lichtbündel sehr dünn sind.

dies (allerdings in etwas schematischer Form) in Fig. 1 und 3 Taf. VII angegeben ist. Man sieht hier, dass Strahlen, welche auf die Ebene KK parallel auffallen, also 1 und I oder 2 und II oder 3 und III u. s. w., sich keineswegs in einer kleinen Fläche vor dem Auge treffen. Bei grosser Apertur liegen diese Schnittpunkte α bis ϵ viel näher an der Ocularlinse wie bei kleiner Apertur, und sie können daher im Allgemeinen auch nicht vom Auge gleichzeitig übersehen werden. Für die Übersicht der randlichen Theile des Bildes sind vor Allem die Strahlen 5 und I (Fig. 1), für die centralen Theile die Strahlen 1 und V und die ihnen benachbarten (Fig. 3) erforderlich. Man muss also, um eine gute Beleuchtung des ganzen Axenbildes zu erhalten, sowohl die Strahlen 1—5 als auch I—V in das Instrument senden.

Bei dem LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparat will ich den Strahlengang nur für das dem Instrument beigegebene kleinere Objectiv näher erläutern. In Fig. 8 und 9 Taf. IX ist der Gang der Strahlen für Axenwinkel von $2 \times 28^\circ$ und $2 \times 10^\circ$ verfolgt; für letzteren Fall ist angenommen, dass die Objectivlinse noch aplanatisch sei — was natürlich auch nur annäherungsweise der Fall ist —, so dass also hier die beiden GAUSS'schen Hauptebenen H_1 und H_2 , die eine im Scheitel der Krümmung, die andere in etwa $\frac{1}{3}$ der Linsendicke davon entfernt, zur Construction der Strahlen verwendet wurden. Eine Figur, welche sich zu Fig. 8 Taf. IX wie Fig. 2 zu Fig. 1 verhalten würde, ist hier fortgelassen, um unnöthige Wiederholungen zu vermeiden. Die Construction der randlichen Strahlen (Fig. 8) erfolgte nach einer Methode, die in Anmerkung 4 p. 438 näher auseinandergesetzt ist. Für die Betrachtung des Ganges der Lichtstrahlen gilt nun bei Fig. 8 und 9 Taf. IX das Gleiche wie bei Fig. 1 und 3. Um das Axenbild übersehen zu können, sind bei der Lage des Auges in der Nähe von A — und an dieser Stelle befindet sich das Auge nach den bisherigen Constructionen — für die äusseren Theile des Bildes die Strahlen 5 und I (Fig. 8), für die inneren Theile die Strahlen 2—3 und III—IV (Fig. 9) erforderlich. Man muss also, um das ganze Axenbild am Rand und in der Mitte ohne Störung übersehen zu können, die Strahlen 2—5 und I—IV in den Apparat senden. Solange man die Linsen nicht erheblich über ihren

aplanatischen Charakter in Anspruch nimmt, müssen zur vollständigen Beleuchtung des Gesichtsfeldes die Strahlen 1 und I, oder 2 und II, oder 3 und III u. s. w. und die ihnen benachbarten von einer Lichtquelle geliefert werden. Die Leuchtflamme braucht also, wenn sie nahe vor dem Collimator aufgestellt wird, in diesem Fall nicht wesentlich grösser als die Längenausdehnung des Axenbildes in der Fadenkreuzebene zu sein. Wenn man sich z. B. in dem LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparat auf ein Gesichtsfeld von etwa 20° beschränkt, so braucht die nahe vor dem Collimator aufgestellte Beleuchtungsflamme nur etwa 6 mm breit zu sein. Die Verhältnisse ändern sich aber auch hier ebenso wie bei dem vorigen Instrument, wenn man die Objective bis zu einer Apertur beansprucht, bei welcher sie keineswegs mehr als aplanatisch angesehen werden können. Allerdings treten die Unterschiede hier nicht so deutlich hervor, aber schliesslich kommt man doch wieder zu dem gleichen Resultat, dass nämlich nicht die Strahlen 1 und I, oder 2 und II, oder 3 und III u. s. w. erforderlich sind, sondern dass vielmehr gleichzeitig mehrere dieser Parallelstrahlenbündel in den Apparat gesandt werden müssen, um das ganze Gesichtsfeld zu beleuchten. Die Beleuchtungsflamme muss also auch hier eine Breite haben, welche die lineare Ausdehnung des Axenbildes übertrifft.

3. Beleuchtung mit monochromatischem Spectrallicht im Gegensatz zur Beleuchtung mit Lampen- oder Wolkenlicht.

In Abschnitt 1 ist gezeigt worden, dass zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes eines aplanatischen Systems parallele Lichtstrahlen erforderlich sind; solche werden aber von dem Spectralapparat, wie er in dem vorangegangenen Aufsatz beschrieben ist, nicht unmittelbar geliefert. Man kann dieselben indessen auf folgende Weise leicht herstellen. Zunächst muss der Austrittsspalt des Spectralapparates in einer solchen Entfernung vom Collimator sich befinden, dass das austretende, monochromatische, divergente Strahlenbüschel die ganze wirksame Breite der Collimatorlinse bedeckt; und ferner ist ausserhalb des Polarisators eine Beleuchtungslinse anzubringen, in deren äusserem Brennpunkt der Spalt sich befindet. In

Fig. 12 Taf. VIII ist diese Linse *B* (von etwa 140 mm Brennweite) und ihre Wirkungsweise gezeichnet. Die Breite des Austrittsspaltens *S* des Spectralapparates, welcher das monochromatische Licht liefert, ist etwa 10—20 mal übertrieben, um den Gang der Strahlen noch deutlich erkennen zu können¹. Die Strahlenbüschel, welche auf die einzelnen Punkte der Collimatorblende *KK* auffallen, sind also in Wirklichkeit ausserordentlich schmal; das hat aber — immer wieder aplanatische Systeme vorausgesetzt — keine Schwierigkeiten der Beobachtung zur Folge, wie dies auch die weiter unten beschriebene Linsencombination ergibt. Das Auge kann sich nahezu um den Durchmesser der Pupille hin und her bewegen, ohne den Gesamteindruck des Bildes zu verlieren.

Wollte man aber das monochromatische Spectrallicht zur Beleuchtung eines Gesichtsfeldes verwenden, dessen Ausdehnung den aplanatischen Charakter der Linsen ausschliesst, so würde man immer nur einen Theil dieses Gesichtsfeldes gut beleuchtet erhalten². Man wird diese Verhältnisse am besten überschauen, wenn man in Fig. 1, 2, 3, 8 und 9 den Gang der durch stark ausgezogene Pfeile bezeichneten Lichtstrahlen verfolgt. Denkt man sich die Lage des Spaltens in diesen 5 Figuren etwa bei *S*, so gehen von hier aus zur Beleuchtung der randlichen Theile des Gesichtsfeldes die Strahlen 5 und I (Fig. 1 und 8), zur Beleuchtung der mittleren Theile des Axenbildes 4 und II (Fig. 2, 3 und 9).

Aus dem Vergleich von Fig. 2 und 3 sieht man, dass das Auge nur bei einem aplanatischen System (Fig. 2) Strahlen von dem inneren Theil des Gesichtsfeldes gleichzeitig mit Strahlen vom Rande (Fig. 1) aufnehmen kann. (Es wäre hierbei also nicht einmal nothwendig, die einfallenden Strahlen

¹ In dieser Fig. 12 sind an Stelle von 5 nur 3 Strahlen gezeichnet, um die Figur mit Fig. 13—15 Taf. X in Einklang zu bringen, worauf weiter unten näher eingegangen wird.

² Bei sehr starken Lichtquellen, z. B. Sonnenlicht, welches nur so weit abgeblendet ist, dass es das Auge noch eben zu ertragen vermag, kann es wohl den Anschein haben, als wenn das ganze Gesichtsfeld beleuchtet wäre. Dies ist aber eine Täuschung und nur eine Folge der unregelmässigen Zerstreuung an den verschiedenen Glas- und Kalkspathflächen.

durch eine Beleuchtungslinse parallel zu machen; immerhin erhält man mit einer solchen Beleuchtungslinse etwas günstigere Verhältnisse.) Bei nicht aplanatischen Systemen sieht das Auge entweder die randlichen Theile und die inneren bleiben ihm verdunkelt — in dieser Lage ist das Auge in Fig. 1 und 3 gezeichnet — oder es überblickt bei einer anderen Stellung nur den mittleren Theil des Gesichtsfeldes und dessen Ränder sind nicht beleuchtet. Und wenn diese verschiedenen Strahlen auch von der Pupille des Auges noch eben aufgenommen werden können, so genügt doch eine minimale Bewegung, um die einen oder anderen Strahlen auszuschliessen und damit den Eindruck einzelner Theile des Gesichtsfeldes zu verlieren. Unter diesen Verhältnissen ist aber der Bewegungsraum des Auges wesentlich beschränkter als unter den p. 411 erwähnten. Alles dies kommt nur ernstlich in Frage, wenn es sich um den Überblick über grosse Axenbilder handelt. Bei dem eigentlichen Messen des Winkels der optischen Axen bietet nach meiner Erfahrung die Beleuchtung mit ungeschwächtem spectralem Licht keine Schwierigkeiten.

4. Function der Linsen e und e_1 diesselts und jenseits des Polarisators.

Bisher wurde vorausgesetzt, dass die Lichtstrahlen bei dem Durchgang durch Polarisator und Analysator in keiner Weise abgeblendet würden. Besonders bei dem GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparat müsste schon der Analysator, und in noch viel grösserem Maasse der Polarisator, recht erhebliche Breiten aufweisen. Bei manchen Constructionen des NÖRRENBURG-Typus verwendet man daher zur Polarisation einen Glassatz. Derselbe bringt aber bei künstlicher Beleuchtung und besonders bei horizontaler Lage des Instrumentes immer einige Unbequemlichkeiten mit sich. Seine Anwendung hat man nun auf die Weise zu umgehen versucht, dass man diesselts und jenseits des Polarisators zwei Linsen anbrachte, welche um ihre doppelte Brennweite von einander abstehen.

Die Function dieser Linsen e und e_1 im Einlassrohr des GROTH-NÖRRENBURG'schen Instrumentes möchte ich nun etwas näher erörtern, und es scheint mir dies um so gerechtfertigter, als seine Wirkung selbst in der GROTH'schen Physik. Kry-

stallographie keine einwandfreie Erklärung gefunden hat (Anmerkung 5 und 6 p. 440 und 442).

Die Vermuthung, dass diese Linsen dazu dienen sollen, kleinere Polarisatoren anzuwenden, finde ich in einem Aufsatz von ADAMS bestätigt¹. Danach muss es auffallen, dass die Polarisatoren, welche in den GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparaten angewendet werden, sehr gross sind. In dem Instrument des hiesigen physikalischen Instituts hat z. B. der Polarisator NICOL'scher Construction eine Länge von 50 mm und einen Querschnitt nach der längeren und kürzeren Diagonale von 27 und 22 mm, der kleinste Querschnitt misst 18 mm. Bei der Kostbarkeit des Kalkspathmaterials würde man solche Polarisatoren sicherlich nicht anwenden, wenn sie nicht für die Beleuchtung eines grossen Gesichtsfeldes nothwendig wären. Ein näheres Studium von Fig. 1 und 4, sowie 3 und 5 Taf. VII führt nun zu dem Resultat, dass bei Anwendung der Linsen e und e_1 der Polarisator allerdings kleiner sein darf, als wenn diese Linsen fortgelassen werden; immerhin muss er aber noch eine ganz erhebliche Grösse besitzen. Dies ist indessen nicht der einzige Vortheil der Linsen e und e_1 . Wenn man nämlich alle 10 Parallelstrahlenbündel in das Collimatorrohr senden wollte, was für eine bequeme Beobachtung zu Demonstrationszwecken wohl erwünscht ist, so müsste eine Leuchtflamme in nur 100 mm Abstand von der Ebene KK schon 34 mm breit sein, oder, wenn man Wolkenlicht zur Beleuchtung verwendet, so darf der Apparat nicht zu weit vom Fenster aufgestellt werden, damit alle 10 Strahlen noch ungehindert eintreten können. Wenn man nun etwa Fig. 4 mit Fig. 1 vergleicht, so erkennt man einen weiteren Vortheil der Linsen e und e_1 . Sie dienen nicht nur dazu, das polarisirende Prisma kleiner anwenden zu dürfen, sondern sie erlauben auch, eine kleinere Lichtquelle zu ge-

¹ ADAMS, Über ein neues Polarisoskop. Pogg. Ann. 157. 1876. p. 300. Die in Betracht kommende Stelle lautet: „In den bisherigen Polarisokopen wird diese Schwierigkeit (nämlich grosse Turmalinplatten anwenden zu müssen) dadurch umgangen, dass man zwei (muss wohl heissen eine) convexe Linsen anwendet, welche die Strahlen zwingen, die Axe sehr nahe beim polarisirenden Turmalin zu kreuzen, und sie dann mittelst einer zweiten convexen Linse parallel macht.“

brauchen, was bei künstlicher Beleuchtung nicht ohne Wichtigkeit ist.

Es würde kaum möglich, oder wenigstens mit einigen mechanischen Schwierigkeiten (Kühlvorrichtung) verknüpft sein, eine Flamme von 34 mm Breite in 100 mm Entfernung von der Ebene KK aufzustellen, da man befürchten müsste, den Polarisator zu stark zu erwärmen. Nach Einschaltung der Linsen e und e_1 genügt eine Flamme von 27 mm Ausdehnung in 230 mm Entfernung. Ohne die Linsen wäre in dieser Entfernung eine Flamme von über 50 mm Ausdehnung erforderlich. Wie sehr nun auch die Linsen hier von Vortheil sind, so lassen sie sich bei der Beleuchtung mit Spectrallicht nicht verwenden; darüber geben am besten Fig. 4 und 5 Aufschluss. Will man aber die Linsen nicht entbehren, um die grösstmögliche Apertur zu erhalten, so muss man nach dem Vorschlag Turton's das Spectrallicht durch eine matte Glastafel von etwa 30 mm Ausdehnung, welche recht nahe vor der Linse e eingeschaltet werden kann, in einen Selbstleuchter verwandeln¹ und diesen als Lichtquelle benutzen.

Die Vortheile der Linsen e und e_1 schwinden mehr und mehr, wenn es sich um kleinere Axenbilder, oder mit anderen Worten um ein Gesichtsfeld von kleinerer Apertur handelt. Also bei den Apparaten zum eigentlichen Messen der Axenwinkel, bei denen ein Gesichtsfeld von etwa 30° — 40° genügen dürfte, und die Linsen bei einem Glasabstand von etwa 20 mm eine etwaige Brennweite von 15—20 mm und demnach einen Durchmesser von 8—14 mm besitzen, kann man das diesem Durchmesser entsprechende, oder auch ein wenig grössere, polarisirende Prisma unschwer beschaffen. Allerdings könnte bei Anwendung der Linsen e und e_1 der Polarisator noch etwas kleiner sein, indessen spielt dies bei den hier überhaupt in Betracht kommenden Grössen keine Rolle; auch sind hier keine aussergewöhnlich breiten Flammen erforderlich, um ein für Messungen genügend grosses Gesichtsfeld zu erhellen. Die Linsen e und e_1 sind daher an den eigentlichen Axenwinkelapparaten von keiner grossen Bedeutung; sie

¹ Philosoph. Transact. 185. 1894. p. 916; auch Zeitschr. f. Kryst. 24. 1894. p. 458.

können aber geradezu störend wirken, wenn man einen AUER-Brenner, der wegen seiner grossen Intensität sonstige Vortheile bietet, anwendet. Stellt man diesen Brenner in etwa 150 mm vor dem Instrument auf, also etwa in die Nähe der Ebenen *LL* (Fig. 10 und 11 Taf. IX), so entsteht das Bild des Glühstrumpfes in der Nähe der Ebene *KK* und wird daher auch in der Bildebene des Fernrohres entworfen, so dass das relativ scharfe Bild des Glühstrumpfes gleichzeitig mit dem Interferenzbild auf der Netzhaut erscheint und einen störenden Einfluss auf die Klarheit der ganzen Erscheinung ausübt. Schliesslich müssen diese Linsen unbedingt entfernt werden, wenn man mit directem Spectrallicht — also ohne Umwandlung desselben mittelst einer matten Glastafel in einen Selbstleuchter — das Gesichtsfeld erhellen will¹. Ein Blick auf Fig. 10 und 11 genügt, um zu erkennen, dass hier ganz ähnliche Verhältnisse obwalten wie die bereits oben an dem GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparat besprochenen.

Das wesentliche Resultat dieser an zwei praktischen Beispielen durchgeführten Untersuchung ist nun, dass in allen Fällen, wo es sich um grosse Aperturen handelt, die Beobachtung bequemer ausgeführt werden kann, wenn man einen Selbstleuchter anwendet. Bei der monochromatischen Beleuchtung mit Spectrallicht geschieht die Umwandlung zu einer Art Selbstleuchter mittelst der bekannten matten Glastafel. Damit ist immer nothwendigerweise eine Schwächung der Beleuchtung verbunden, und ob dieselbe von dem Präparat ertragen werden kann, darüber entscheidet allein dessen Grösse, Güte und ganz besonders Eigenfarbe. Da die Linsensysteme unserer Polarisationsinstrumente bei weitem nicht aplanatisch sind, so kann man grössere Axenwinkel mit ungeschwächtem Spectrallicht nicht beobachten, und damit dies wenigstens bei Winkeln von 30°—40° geschehen kann, sollten die Linsen innerhalb dieser Apertur möglichst aplanatisch sein.

¹ Wie das Herr C. LEISS auch schon vorgeschlagen hat. Zeitschr. f. Instr. 1898. p. 212.

III. Vorschläge zur Construction eines neuen Axenwinkelapparates.

DOVE hat bereits im Jahre 1853¹ eine Reihe von Forderungen, welche ein Polarisationsapparat erfüllen sollte, aufgestellt; unter denselben ist an siebenter Stelle gesagt, dass man die Ringsysteme stark und schwach doppelbrechender Krystalle gleich gut in dem Apparat solle beobachten können. Dieser Forderung genügt aber sein schon 1835 beschriebenes Instrument² in keiner Weise. Man hat versucht, ihr wenigstens einigermaassen dadurch gerecht zu werden, dass man als Fernrohrobjective zwei Linsen mit verschiedener Brennweite zum Auswechseln verwendet, wie das z. B. an den neueren LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparaten geschieht, oder dass man an den mehrgliedrigen Systemen die Frontlinsen entfernt, wie das GROTH z. B. vorgeschlagen hat. Dieser letztere Apparat ist aber überhaupt mehr ein Demonstrations- als ein Messapparat und genügt besonders der Forderung 2 (s. p. 421) nur in sehr unvollkommener Weise. Für die Messung an sehr guten Präparaten, welche sehr scharfe Interferenzbilder mit vielen Lemniscaten geben, lässt sich allerdings das WEBSKY-FUESS'sche Goniometer ganz ausgezeichnet verwenden, so lange die Messung in Luft geschieht. Die geringe Apertur des Fernrohres von etwa 10° hat nichts Störendes, weil ein scharfes Interferenzbild innerhalb dieses Winkelraumes sich leicht auffinden und einstellen lässt. Und wenn die Messung in einer Flüssigkeit geschehen muss, so lässt sich auch diese mit Hilfe der RAMSAY-BRÖGGER'schen Vorrichtung³ ausführen, wenn auch nicht ganz so bequem wie bei der Anordnung des Theilkreises über dem Gefäss. Für sehr wenig genaue Messungen eignet sich andererseits das in einen Polarisationsapparat umgewandelte Mikroskop, welches nur wieder den grossen Mangel hat, die Einstellung der Plattennormale nicht ausführen zu können.

Die Forderungen, welche sich an einen Axenwinkelapparat

¹ DOVE, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. p. 202—203.

² Pogg. Ann. 35. 1835. p. 596—608. Taf. V.

³ Zeitschr. f. Kryst. 12. 1887. p. 210.

stellen lassen, mögen kurz folgendermaassen zusammengefasst werden:

1. Veränderliche Vergrösserung des Beobachtungsfernrohres.
2. Einstellung der Plattennormale durch Autocollimation.
3. Justirung des Fernrohres auf die Axe des Limbus.
4. Möglichst grosser Abstand von Fernrohrobjectiv und Collimatorlinse.
5. Möglichst grosse Apertur.
6. Achromatische und aplanatische Linsen.
7. Beleuchtung mit einem Selbstleuchter, sowie auch mit monochromatischem Spectrallicht, welches nicht durch eine matte Glastafel in eine Art von Selbstleuchter umgewandelt ist.
8. Forderungen, welche das Stativ betreffen.

1. Veränderliche Vergrösserung des Beobachtungsfernrohres.

Das Fernrohr des zu construierenden Axenwinkelapparates müsste sich allen jenen Präparaten anpassen, welche für das Mikroskop zu gut und für das Goniometer zu schlecht sind, und deren Zahl die bei weitem grösste ist. Aber auch unter diesen herrscht noch eine grosse Veränderlichkeit in der Schärfe der Interferenzfiguren und daher sollte der zur Einstellung dienende Beobachtungsapparat in seiner Vergrösserung veränderlich sein. Bei den Mikroskopen ist man dieser Forderung durch Vorrichtungen zum Aus- und Einschalten zahlreicher Objective und Oculare in den weitesten Grenzen gerecht geworden. Auch bei der Construction des WEBSKY-FUESS'schen Goniometers hat man darauf Rücksicht genommen, die Vergrösserung des Beobachtungsrohres durch Verwendung mehrerer Oculare um das 10fache, nämlich von der Vergrösserung $\frac{1}{2}$ bis zur Vergrösserung 5 abzuändern und der jedesmaligen Bildschärfe anzupassen. Bei den Instrumenten zum Messen des Winkels der optischen Axen begnügt man sich aber in den meisten Fällen mit einem einzigen Fernrohr, obgleich die Interferenzbilder bei den verschiedenen Krystallen in ausserordentlich verschiedener Schärfe auftreten. Bis dahin hat man sich wohl in der Weise zu helfen versucht, dass man nicht, wie das sonst bei dem Mikroskop und bei dem Goniometer üblich ist, die vergrössernde Kraft des Instrumentes

dem Object, sondern umgekehrt das zu beobachtende Object — nämlich das Interferenzbild — einem gewissen Instrument anpasst. In vielen Fällen, in denen die Grösse des vorliegenden Krystals oder seine Doppelbrechung gering ist, kann aber diese Methode, mit einem einzigen Fernrohr zu arbeiten, sehr ungenaue Resultate ergeben, weil eben die Ausdehnung des Präparates nicht genügt, die Hyperbelscheitel in der wünschenswerthen Schärfe zu erhalten. Die Eigenschaft unseres Auges, geringe Helligkeitsunterschiede nicht mehr gut wahrnehmen zu können, würde eine Verkleinerung des Interferenzbildes wünschenswerth machen, ohne deswegen gerade ein 30—80fach verkleinerndes Fernrohr zu fordern, in welches sich das Mikroskop umwandeln lässt. Die Bestimmung mit einem Fernrohr von nur 10'—20' Einstellungsgenauigkeit kann unter Umständen zuverlässiger sein, als eine andere mit stärker vergrößerndem Fernrohr, mit dem man zwar immer auf den gleichen Schatten visirt und auf diese Weise eine relativ grosse Genauigkeit der Ablesung erreicht, ohne indessen sicher zu sein, dass diese Ablesung wirklich der Stelle des Austritts der optischen Axen entspricht¹. Die Vergrößerung des Beobachtungsrohres sollte sich in Grenzen bewegen, so dass einerseits die grösste noch erforderliche Genauigkeit, nämlich eine Einstellung bis auf eine Bogenminute, andererseits eine vielleicht 10—20mal geringere Genauigkeit zu erreichen möglich wäre. Zu einer sicheren Einstellungsgenauigkeit bis auf Bogenminuten bedarf man bei den relativ ungenauen Umrissen der Bilder wohl eines $1\frac{1}{2}$ —2fach vergrößernden Fernrohres; die andere Grenze mag bei einem etwa 8—10fach verkleinernden Fernrohr gezogen werden, da Präparate, welche auch hierbei noch unscharf erscheinen, keine genauere Messung mit Bestimmung der Lage der Plattennormale beanspruchen

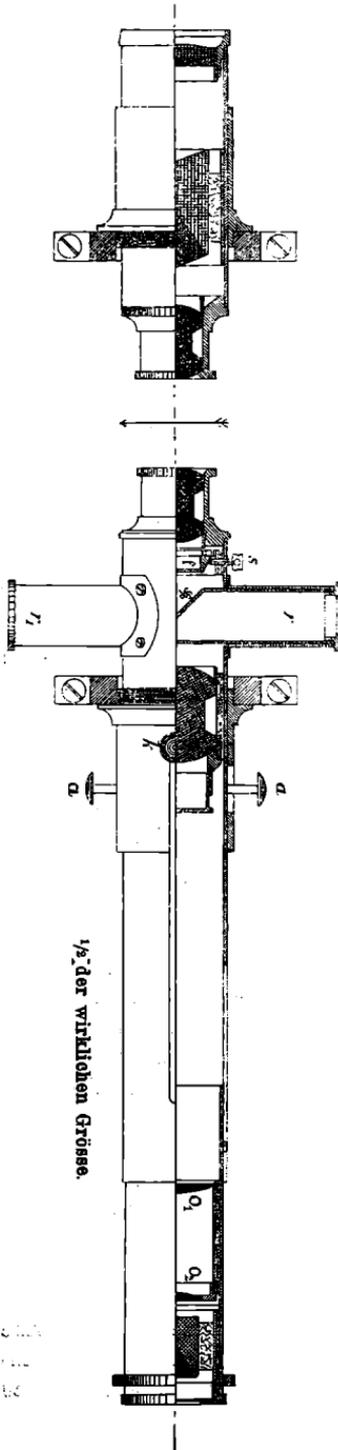
¹ Wenn nun in der That bei neuen Untersuchungen, z. B. bei Messungen isomorpher Substanzen, bei denen das Material in der ganzen Reihe wohl selten von gleich guter Beschaffenheit ist, das Arbeiten mit einem einzigen Fernrohr recht hinderlich werden kann, so hat dies bei der Demonstration einer Sammlung STEEG'scher Präparate wenig zu bedeuten. Diese Präparate pflegen meistens einem 2—5fach verkleinernden Fernrohr angepasst zu sein, so dass also hier die bisherigen Apparate allen Anforderungen genügen.

können. Derartige Präparate sind also mit Hilfe des Mikroskopes, sei es nach der MALLARD'schen oder einer anderen Methode zu messen.

Es würde sich also darum handeln, den Beobachtungsapparat in seiner vergrößernden Kraft etwa um das 16fache zu variiren, was sich auf recht verschiedene Weise erreichen lässt. Man kann verschiedene Fernrohre, z. B. solche von 8facher Verkleinerung, 2facher Verkleinerung und 2facher Vergrößerung gegeneinander austauschen; man kann aber auch nur die Objective oder nur die Oculare oder beide miteinander auswechseln. Die Methode, die ganzen Fernrohre zu vertauschen, würde den Apparat erheblich vertheuern, und die Aufgabe durch einen Wechsel der Objective zu lösen, möchte ich nicht empfehlen, weil eine Justirung der Fernrohre auf ein und dieselbe Axe, nämlich auf die Drehaxe des Limbus, nach dieser Methode schon eine hohe Präcisionsarbeit erfordert. Am einfachsten gestalten sich wohl die mechanischen Verhältnisse, wenn man Objectiv und Fadenkreuz in ihrer Lage zur Limbusaxe möglichst wenig verschiebt¹ und Veränderungen nur an jenen Theilen des Fernrohres vornehmen lässt, welche das in der Fadenkreuzebene liegende Interferenzbild in verschiedener Vergrößerung in's Auge senden. Hierbei kann man aber durch blossen Austausch der Oculare kaum eine 16fache Veränderung der Vergrößerung erreichen². Nach mannigfachen Versuchen habe ich schliesslich eine ver-

¹ Eine kleine Verschiebung in der Richtung der Axe des Fernrohres ist wegen verschiedener Dicke der Präparate und wegen der einzuschaltenden Flüssigkeitsgefässe nicht zu umgehen, dieselbe kann aber leicht, ohne die Sehaxe des Fernrohres merklich zu verändern, ausgeführt werden und geschieht mittelst der Knöpfe *a* (Fig. 1 p. 424). Auch kann eine solche kleine Verschiebung erforderlich werden, da für den günstigsten Gang der Strahlen Objectiv und Collimatorlinse nicht immer genau um ihre doppelte Brennweite von einander abstehen. Wenn man z. B. den Strahlengang in Fig. 14 Taf. X verfolgt, so kann man erkennen, dass bei weiterer Entfernung des Fernrohrobjectivs von der Collimatorlinse ein kleinerer Analysator erforderlich ist.

² Ein Objectiv von 25 mm Brennweite würde z. B. Oculare von etwa 12 bis etwa 200 mm Brennweite erfordern. Das erstere Fernrohr wäre zu kurz, um zwischen den Linsen noch die Justirungsvorrichtung des Fadenkreuzes und das GAUSS'sche Spiegelglas zur Autocollimation anbringen zu können.



schiebbare Hilfslinse zwischen Fadenkreuz und eigentlichem Ocular eingeschaltet, welche nach Art der BERTRAND'schen Linsen im Mikroskop von dem ersten in der Fadenkreuzebene liegenden Interferenzbild ein zweites entwirft, welches nun durch ein Ocular beobachtet wird. Das erste Interferenzbild möge primäres, das zweite sekundäres Bild genannt werden. Je nach der Stellung der Hilfslinse ist das sekundäre Bild kleiner, gleich gross oder grösser als das primäre Bild. Wählt man hier eine Hilfslinse von passenden Dimensionen, so kann mit einer nur 10 cm grossen Verschiebung derselben eine 16fache Veränderung in den Grössenverhältnissen von primärem und sekundärem Bild erreicht werden, so dass man also in den äussersten Lagen der Hilfslinse das sekundäre Bild etwa 4mal grösser oder 4mal kleiner als das primäre Bild entwirft. Die STEINHEIL'schen Lupen erweiterter Construction haben sich hier als durchaus geeignet erwiesen; ich verwende eine solche Lupe von etwa 24 mm Aequivalentbrennweite und etwa 16 mm wirksamer Öffnung. Primäres und sekundäres Bild stehen im äussersten Fall 150 mm von einander ab und das ganze Fernrohr erhält eine Länge von etwa 230 mm. In dieser ganz ausgezogenen Länge ist es in nebenstehender Fig. 1 in $\frac{1}{2}$ der wirklichen

Fig. 1.

Grösse dargestellt, wo von den Knöpfen zur Verschiebung der Hilfslinse der eine zu sehen und mit k bezeichnet ist. Die Knöpfe a dienen zur Verschiebung des ganzen Fernrohres in der Richtung seiner Axe. (Weitere Einzelheiten s. Anmerkung 7 p. 443.)

2. Einstellung der Plattennormale.

Nach der zweiten Forderung soll das Fernrohr derart eingerichtet sein, dass es die Einstellung der Plattennormale nach der GAUSS'schen Methode der Autocollimation ermöglicht. Damit dies auch bei kleineren und nicht gut polirten Flächen ausführbar ist, muss das Objectiv recht einfach gebaut sein und nicht aus einem Satz mehrerer getrennter Linsen bestehen, da durch die wiederholten Reflexe an den verschiedenen Oberflächen der Linsen die Erkennung des Fadenkreuzes sehr erschwert, ja unmöglich gemacht wird. Ferner ist, um diese Reflexe auch an der Ocularlinse zu vermeiden, das unter 45^0 gegen die Fernrohraxe gerichtete Spiegelglas gleich hinter dem Fadenkreuz einzuschalten. Die von der seitlich aufgestellten Beleuchtungslampe durch r^1 eintretenden Lichtstrahlen legen alsdann folgenden Weg zurück (Fig. 1 a. v. S.): Reflexion am Spiegelglas Sp — Fadenkreuz f — Objectiv — Reflexion am Krystall — Objectiv — Fadenkreuz f — Durchgang durch das Spiegelglas Sp — Verschiebbare Hilfslinse — Ocular — Auge. Auf diese Weise werden Hilfslinse und Ocularlinse nur einmal durchlaufen, wodurch das Fadenkreuzbild sich viel leichter erkennen lässt. Das Rohr r (Fig. 1 a. v. S. und Fig. 2 p. 432), welches das Spiegelglas trägt, passt in eine gegenüber r^1 liegende Öffnung und ist um die senkrecht zur Fernrohraxe liegende, horizontale Axe drehbar, so dass auch die Lichtstrahlen, welche eine etwas höher oder niedriger stehende Lampe aussendet, in die richtige Bahn gelenkt werden können. Nach dem Gebrauch wird dieses Rohr r ein klein wenig herausgezogen, um bei der Beobachtung der Axenbilder keine Lichtschwächung durch Reflexion am Spiegelglas zu erhalten. Das Rohr r_1 , welches den auf den Spiegel fallenden Strahlen den Eingang gestattet, ist für gewöhnlich durch eine Kappe geschlossen, um die Verstaubung der Linsen zu verhüten. Die weitere Anordnung ist wohl aus Fig. 1 und 2 ersichtlich.

3. Justirung des Fernrohres auf die Axe des Limbus.

Die Justirung des Fernrohres auf die Axe des Theilkreises geschieht durch Bewegung des Fadenkreuzes oder der das Fadenkreuz tragenden Glasplatte *f*. Wegen Einzelheiten dieser Construction verweise ich auf Fig. 1; auch sind in Fig. 2 zwei von diesen vier Schrauben *s*, welche die Bewegung auszuführen haben, zu erkennen. In Bezug auf dieses Fadenkreuz ist ferner noch zu bemerken, dass es aus zwei sehr starken Verticalfäden bestehen muss, in deren Mitte ein feinerer Faden liegt. Bei den stärkeren Vergrösserungen kommt nur der Mittelfaden, bei den schwächeren kommen die beiden breiten Fäden bei der Einstellung zur Verwendung.

4. und 5. Möglichst grosser Abstand von Fernrohrobjectiv und Collimatorlinse, sowie möglichst grosse Apertur.

Die grössten Schwierigkeiten bereitet es, den Forderungen 4. und 5. gerecht zu werden, da dieselben sich eigentlich, wie schon VICTOR v. LANG hervorgehoben hat, direct widersprechen¹. Ein stark verkleinerndes Fernrohr muss nothwendig ein Objectiv von geringer Brennweite haben. Ein Objectiv von geringer Brennweite gestattet aber wieder nur die Messung kleiner Krystalle, weil diese Krystalle in dem Brennpunkt der Linse liegen müssen, wenn nicht das Gesichtsfeld verkleinert werden und damit der 5. Forderung Abbruch geschehen soll. Durch die Verwendung der verschiebbaren Hilfslinse kann man sich in Bezug auf die Brennweite des Objectivs allerdings in ziemlich weiten Grenzen bewegen; wenn man aber an der freilich sehr hohen Forderung der 16fachen Veränderlichkeit der Fernrohrvergrösserung festhalten will, so ist man auch an gewisse Maasse gebunden. Angenommen, man wollte eine Apertur von 36° erreichen, also den Axenwinkel des Aragonits noch gut übersehen, so müsste das Objectiv:

bei 10 mm Brennweite		6 mm freie Öffnung,	
"	15	"	10
"	18	"	12
"	20	"	13
"	30	"	19
"	40	"	26

haben.

¹ Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. 55. II. 1867. p. 546.

Wenn man nun berücksichtigt, dass bei diesen stark gekrümmten Linsen — und wir dürfen bei 36° Apertur keine anderen erwarten — der Brennpunkt um erheblich weniger als die Brennweite vom Glase absteht, so können die ersten Linsen keine Verwendung finden, weil der Bewegungsraum für den Krystall zu klein wird. Die letzteren aber schliessen sich wegen ihres grossen Durchmessers aus, welcher sehr grosse verschiebbare Hilfslinsen und überhaupt ein ausserordentlich grosses Fernrohr erforderlich machen würde; auch müssten sehr grosse Polarisatoren angewendet werden. Linsen von 18—20 mm Brennweite und entsprechender Öffnung möchte ich als geeignet bezeichnen.

6. Achromatische und aplanatische Linsen.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Wahl dieses Fernrohr-objectivs besteht in der Forderung, einigermaassen aplanatische und achromatische Linsen anzuwenden. Ältere und neuere Axenwinkelapparate besitzen als Fernrohr-objective, wenn sie die Methode der Autocollimation anzuwenden erlauben, eine einfache biconvexe oder planconvexe Crown Glaslinse. Bei dem Axenwinkelapparat von V. v. LANG, der wohl als Typus für derartige Instrumente diene, hat diese biconvexe Linse eine Brennweite von 20 mm und eine wirksame Öffnung von $7\frac{1}{2}$ mm, demnach eine Apertur von etwa 21° . Abgesehen von dieser kleinen Apertur, welche wohl für die von V. v. LANG angewandte $2\frac{1}{2}$ fache Verkleinerung, nicht aber für noch stärkere Verkleinerungen genügt, würde diese Linse in dem Fernrohr mit variabler Vergrößerung nicht brauchbar sein, weil sie nicht achromatisch ist. Bei einer einfachen Crown Glaslinse liegen nämlich die Brennpunkte für rothes und violettes Licht um etwa $\frac{1}{40}$ der Brennweite, in diesem Fall also um etwa $\frac{1}{2}$ mm von einander entfernt. Bei derjenigen Stellung der verschiebbaren Hilfslinse, bei welcher das secundäre Bild 4mal grösser als das primäre Bild entworfen wird, erhöht sich aber diese Differenz auf 2 mm. Wenn daher das Fadenkreuz bei der Beleuchtung mit rothem Licht mit dem Interferenzbild in einer Ebene liegt, so wird bei der Beleuchtung mit violettem Licht schon ein recht erheblicher parallaktischer Fehler auftreten, der eine zuverlässige Messung unmöglich macht.

Unter den im Handel vorkommenden achromatischen Fernrohrobjectiven, welche aus verkitteten Linsen bestehen, haben diejenigen mit grösster Apertur eine freie Öffnung von nicht mehr als $\frac{1}{4}$ der Brennweite. Es sind dies die STEINHEIL'schen 3fachen Objective¹, deren Gesichtsfeld sich für unsere Zwecke auf 14° bringen lässt. Freilich sind diese Linsen eigentlich nur für ein Gesichtsfeld von $3^\circ-4^\circ$ berechnet, aber innerhalb dieses Winkelraumes werden an sie die allerhöchsten optischen Anforderungen gestellt. Bei den Fernrohren zum Messen des Winkels der optischen Axen handelt es sich im äussersten Fall um eine Einstellungsgenauigkeit bis auf einzelne Bogenminuten, also um eine verhältnissmässig recht geringe Genauigkeit. Um sich davon zu überzeugen, dass die bis jetzt in den Axenwinkelapparaten als genügend befundenen Fernrohre in optischer Hinsicht ausserordentlich minderwerthig sind, braucht man dieselben nur mit den allerbilligsten und allerschlechtesten Ferngläsern der heutigen Massenproduction zu vergleichen, und man wird finden, dass dieser Vergleich noch zu Gunsten der letzteren ausfällt. Die Fernrohre der Axenwinkelapparate dürfen schon wegen der Beschaffenheit der damit zu beobachtenden „Objecte“ von geringer Qualität sein. Diese „Objecte“, nämlich die Lemniscaten und Hyperbelscheitel, haben durchaus verwaschene Umrisse, so dass also eine für andere Bilder schon recht erhebliche Verzerrung hier gar nicht auffällt. Diese Verzerrung ist für das eigentliche Resultat der Messung auch ohne Bedeutung, weil sie bei jedem Hyperbelscheitel in gleicher Weise hervortritt und sich daher aufhebt.

Noch ein anderer Umstand ermöglicht es aber, bei diesen Fernrohren Objective von sehr geringer optischer Qualität, oder vielmehr, worauf es mir hier besonders ankommt, solche Linsen als Objective vorzuschlagen, welche nicht eigentlich für Fernrohrobjective, sondern für Oculare construiert sind. Gewiss ist es richtig, dass der ganze Beobachtungsapparat als ein Fernrohr angesprochen werden muss, wie dies schon NEUMANN im Jahre 1835 hervorgehoben hat², aber der Gang

¹ STEINHEIL, Preisliste 1894. p. 2.

² Pogg. Ann. 35. 1835. p. 85.

der Lichtstrahlen in einem solchen Fernrohr unterscheidet sich — wenn man grosse Aperturen und kleine Präparate anwendet, wie das meistens der Fall ist — nicht unmerklich von dem in anderen Fernrohren. Zur Erzeugung eines jeden Bildpunktes wird nicht die ganze Objectivlinse in Anspruch genommen, sondern nur ein sehr kleiner Theil. Der mittlere Theil des Bildes, der in der Nähe des Schnittpunktes des Fadenkreuzes sich befindet, wird also nur durch Lichtstrahlen erzeugt, welche die centralen Theile der Linse durchlaufen. Daher erhält man hier eine recht scharfe Abbildung gegenüber den randlichen Theilen, eine viel schärfere Abbildung, als man sie sonst von Linsen der bisher gebräuchlichen Art erwarten sollte. Diese Verhältnisse treten allerdings bei der meist gebräuchlichen Art der Beleuchtung mit Wolkenlicht oder mit einer breiten Flamme nahe vor dem Collimator und bei Anwendung einer grossen Krystallplatte nicht deutlich hervor, aber bei der Verwendung von Spectrallicht kann man sie sehr gut beobachten. Aus dieser letzteren Betrachtung ergibt sich nun, dass der Gang der Lichtstrahlen durch das Objectiv in ähnlicher Weise wie sonst bei den Ocularen erfolgt. Man darf daher vermuthen, dass die achromatischen Oculare sich hier als Fernrohrobjective verwenden lassen, womit der grosse Vortheil verbunden ist, unter den vorhandenen Constructionstypen Linsen mit viel grösserer Apertur zu finden. Nachdem ich jahrelang eine STEINHEIL'sche aplanatische Lupe von 7 mm Öffnung und 18 mm Brennweite und also von etwa 20° Apertur verwandte, habe ich mir neuerdings eine solche Linse erweiterter Construction, wie sie schon oben p. 424 als verschiebbare Hilfslinse vorgeschlagen ist, herstellen lassen. Dieselbe hat eine Brennweite von etwa 18 mm und eine Öffnung von etwa 12 mm und demnach eine Apertur von etwa 36° . Dieser Linsentypus zeichnet sich auch dadurch aus, dass das Gesichtsfeld ausgezeichnet aplanatisch ist. (Weitere Einzelheiten s. Anmerkung 8 p. 445.)

Als eigentliches Augenglas zur Betrachtung des secundären Bildes verwende ich ein RAMSDEN'sches Ocular, dessen beide planconvexe Linsen (O_1 und O_2 in den Figuren 13, 14, 15 Taf. X und Fig. 1 p. 424) je 50 mm Brennweite besitzen und etwa 26 mm von einander abstehen. Die Aequivalent-

brennweite dieses Oculars beträgt hiernach etwa 34 mm. Die beiden Linsen sollen einen recht grossen Durchmesser haben, damit auch bei den stärkeren Vergrösserungen oder richtiger gesagt bei den weniger starken Verkleinerungen der zu überblickende Axenwinkel nicht zu klein wird.

7. Beleuchtung mit einem Selbstleuchter, sowie auch mit monochromatischem Spectrallicht, welches nicht durch eine matte Glastafel in einen Selbstleuchter umgewandelt ist.

Es ist schon im theoretischen Theil ausführlich darüber verhandelt worden, dass die Linsen im Collimatorrohr, welche diesseits und jenseits des Polarisators liegen und um ihre doppelte Brennweite von einander abstehen, bei den Instrumenten zum eigentlichen Messen der Axenwinkel keine grosse Bedeutung haben, sogar in einigen Fällen beseitigt werden müssen, wenn richtige Beleuchtungsverhältnisse erzielt werden sollen. Immer ist darauf zu achten, dass der vom Collimator auf den Krystall geworfene Lichtkegel auf eine möglichst kleine Fläche zusammengezogen wird, dass also Verhältnisse für die weitere Beleuchtung des Fernrohres eintreten, wie sie sich bei Anwendung kleiner Krystalle von selbst ergeben. Wenn man einen weniger spitzen Lichtkegel durchschickt, so kann dies allerdings den Vortheil haben, dass bei nicht richtigem Abstand des Fernrohrobjectivs von der Collimatorlinse oder bei nicht richtiger Centrirung des Krystalls, das Axenbild dennoch im Auge erscheint. Untersucht man aber grössere Platten, die nur stellenweise gut polirt oder klar durchsichtig sind oder sich aus feinen Zwillingslamellen aufbauen, bei denen man die Erscheinung der einen Lamelle getrennt von derjenigen der anderen sehen will, so ist es vortheilhaft oder gar nothwendig, Strahlenbündel von recht kleinem Durchmesser durch den Krystall zu schicken. Die Lichtquelle ist also ziemlich entfernt aufzustellen oder abzublenden, eine störende Abnahme in der Intensität der Erscheinung ist darum noch nicht so bald zu befürchten. Diese Art der Beleuchtung durch Strahlenbündel von sehr kleinem Durchmesser ist bei der Verwendung monochromatischen Spectrallichtes am schärfsten ausgeprägt. Die Spitze des vom Collimator kommenden Lichtconus muss in der Verlängerung

der Limbusaxe liegen. Da nun dieser Lichtconus durch den Luftstaub oder noch besser durch Cigarrenrauch gut sichtbar zu machen ist, so lässt sich eine Centrirung auch der kleinsten Krystalle leicht erreichen. Platten, welche in einer Breite von mehr als 1 mm klar durchsichtig sind, erfordern übrigens meistens keine besondere Vorsicht in der Art der Beleuchtung. Wird der Axenaustritt in Flüssigkeit beobachtet, so müssen Collimator und Fernrohr etwas weiter auseinander gerückt werden, da der Lichtconus durch die eingeschaltete Flüssigkeit gleichsam in die Länge gezogen wird. Benützt man als Flüssigkeit Wasser, so darf das planparallele Gefäss eine Dicke von 24 mm, verwendet man Jodmethylen eine solche von 32 mm haben. Auch bei der Messung dickerer Präparate in Luft ist der Abstand von Collimator und Fernrohr ein wenig zu verändern, wenn diese Präparate von kleinem Querschnitte sind.

8. Forderungen, welche das Stativ betreffen.

Auf Einzelheiten der Construction des Statives und der sonstigen mechanischen Theile des Axenwinkelapparates will ich mich hier nicht weiter einlassen, da diese unzweifelhaft von der Firma FUESS in bekannter Güte ausgeführt werden und dann auch von anderer Seite eine Beschreibung erfahren.

Nur möchte ich mir gestatten, drei Vorschläge zu machen.

1. Der Limbus braucht keine genauere Theilung als auf ganze Bogenminuten mit der Möglichkeit der Schätzung auf halbe Bogenminuten zu besitzen¹, da nach dem Stand unserer heutigen Forschung die Bestimmung des Winkels der optischen Axen bis auf diese Grösse als genügend erachtet werden darf. Ich möchte also glauben, dass ein Theilkreis nach Art derjenigen des FUESS'schen Goniometers, Modell 4a, ausreicht².

2. Die Centrir- und Justirvorrichtung des Krystalls sollte möglichst frei zugänglich sein. Der Theilkreis ist daher nur von einer Seite zu stützen (und zwar durch die Säule, welche

¹ Oder wenn man hier eine etwas grössere Genauigkeit erreichen will, dann sollte auch das Fernrohr eine entsprechend stärkere Vergrösserung haben, die sich z. B. durch ein etwas stärkeres RAMSDEN'sches Ocular leicht erreichen liesse.

² FUESS, Erg. zu den Preisverzeichnissen 1891 und 1894. Steglitz 1895. p. 5.

den Collimator trägt), wie dies bei dem Totalreflectometer von KOHLRAUSCH oder bei dem kürzlich von C. LEISS beschriebenen Totalreflexionsapparate der Fall ist¹. Das Fernrohr sollte aber nicht wie bei diesen Instrumenten an der Alhidade hängen, sondern mit einer kurzen Säule auf der gemeinsamen Grundplatte befestigt sein. Auf diese Weise wird der Centrirkopf fast allseitig zugänglich.

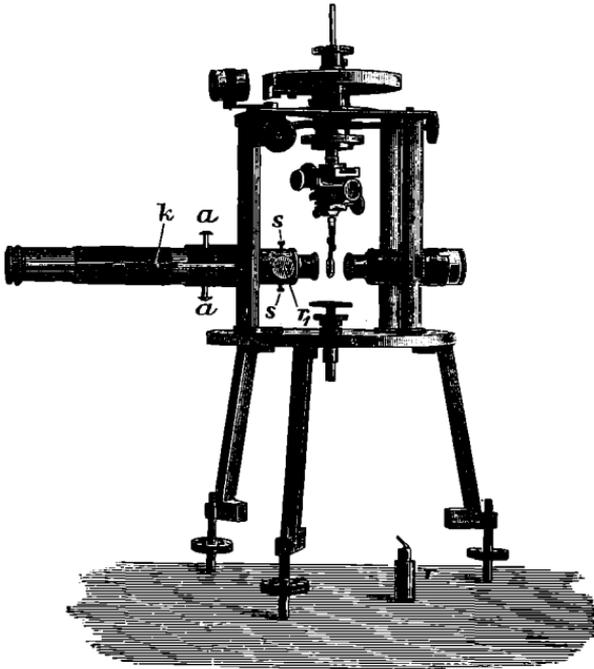


Fig. 2. $\frac{1}{6}$ der wirklichen Grösse.

3. Die Ständer der Grundplatte sollten so lang sein, dass die optische Axe des Fernrohres etwa 25 cm über der Tischplatte liegt. Das Fernrohr hat dann ungefähr die gleiche Lage, wie sie bei dem WEBSKY'schen Goniometer, Modell 2, sich findet und kann unmittelbar vor die Beleuchtungslampen der üblichen Grösse oder vor den Spectralapparat zur Herstellung monochromatischen Lichtes aufgestellt werden.

¹ Vergl. z. B. die Abbildung im Grundriss der physik. Krystallogr. von LIEBISCH. Leipzig 1896. p. 255; ferner C. LEISS, Über neue Totalreflexionsapparate. Zeitschr. f. Kryst. 30. 1898. p. 366.

Eine schematische Skizze, in welcher die beiden letzten Vorschläge angedeutet sind, findet sich in Fig. 3 a. d. S. Fernrohrobjectiv und Collimatorlinse sind in dieser Figur an den zugekehrten Seiten so weit abgeschliffen gezeichnet, als dies ohne Störung des Strahlenganges erlaubt ist. Die Fassung nimmt einen entsprechend geringeren Raum ein, was bei der Verwendung des Apparates als Totalreflectometer nicht un-

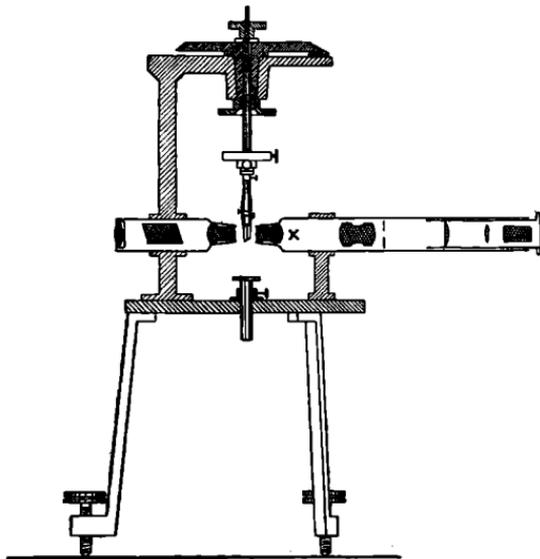


Fig. 3. $\frac{1}{6}$ der wirklichen Grösse.

wichtig ist. Fig. 2 a. v. S. zeigt den Apparat in der bisher ausgeführten Form. Die photographische Aufnahme, welche dieser Abbildung zu Grunde liegt, verdanke ich der freundlichen Hilfe von Fräulein ELEONORE v. MARTITZ.

IV. Gang der Lichtstrahlen in einem Fernrohr mit 16fach veränderlicher Vergrößerung.

In Fig. 13, 14 und 15 Taf. X ist der Gang der Lichtstrahlen durch das Fernrohr in richtiger Weise gezeichnet; ferner ist in Fig. 12 Taf. VIII auch der Gang der Strahlen durch das Collimatorrohr, wie diese Strahlen von einem Spectralapparat zur Herstellung monochromatischen Lichtes geliefert werden, angegeben. Die Breiten der Lichtbündel sind allerdings stark übertrieben. In Fig. 12 soll *s* den Austrittsspalt des

Spectralapparates vorstellen. Seine Breite ist 10- bis 20mal zu gross angenommen, um den Vorgang deutlich machen zu können. *B* ist die Beleuchtungslinse, welche um ihre Brennweite vom Spalt absteht. In Fig. 13 ist die Stellung der Hilfslinse so gewählt, dass das Fernrohr die stärkste, nämlich eine etwa 2fache Vergrösserung giebt. Die Apertur beträgt in diesem Fall 12° . In Fig. 14 wird durch die Hilfslinse von dem primären Bild ein gleich grosses secundäres Bild entworfen; das ganze Fernrohr besitzt eine etwa zweimalige Verkleinerung und erlaubt einen Winkel von etwas mehr als 24° zu übersehen. Es ist hierbei am stärksten zusammengeschoben. Fig. 15 zeigt schliesslich den Gang der Lichtstrahlen, bei welchem das secundäre Bild etwa viermal kleiner als das primäre Bild ist; das Fernrohr besitzt in diesem Fall eine etwa 8fache Verkleinerung und eine Apertur von etwa 36° . Alle Einzelheiten, welche für das Verständniss des Durchgangs der Lichtstrahlen erforderlich sind, lassen sich am besten bei dem Studium der eben genannten Zeichnungen auf Taf. X erkennen. Auf diese Zeichnungen, welche die Vorgänge in halber Grösse wiedergeben, sei hiermit nochmals verwiesen. Alle Strahlen sind von Hauptebene zu Hauptebene richtig construirt, auch ist der Augapfel in richtigem Verhältniss dargestellt. Die Strahlenbüschel, welche die einzelnen Bildpunkte erzeugen, sind aber, trotzdem sie schon recht nahe zusammenliegen, immer noch viel zu breit gezeichnet; wenigstens gilt dies für die Beleuchtung mit monochromatischem Licht (vergl. auch Fig. 12 Taf. VIII und p. 415).

Tübingen, den 22. August 1898.

Anmerkungen.

Anmerkung 1 (zu p. 407). Turmalinzange betreffend. Es wird vielfach angenommen, dass NÖRRENBERG die Turmalinzange erfunden habe; J. MÜLLER theilt nämlich in seinen „Notizen über NÖRRENBERG“ mit¹, die bekanntesten Resultate seines Pariser Aufenthaltes im Jahre 1830 (während

¹ Ber. Verh. naturf. Ges. Freiburg i. B. 6. 1876. Heft 2. p. 107.

der Julirevolution) seien die Turmalinzange und der nach ihm benannte Polarisationsapparat. Drei Jahre vorher hatte aber MARX, wie auch WÜLLNER hervorhebt¹, in seinem Aufsatz „Zur Krystallographie in Beziehung auf Optik“² ein der heutigen Turmalinzange NÖRRENBURG'scher Form in den wesentlichen Theilen durchaus ähnliches Instrument beschrieben. 1828 war übrigens schon von HERSCHEL ein kleiner Apparat construirt worden, bei welchem Turmalinplatten als Polarisator und Analysator verwendet wurden, und die Beobachtung eine ganz ähnliche wie bei der Turmalinzange ist³. HERSCHEL erwähnt dann noch eine Beleuchtungslinse (p. 487, Abschn. 897), mittelst der die Strahlen gezwungen würden, durch einen kleinen Theil des Krystalls zu gehen, so dass bei dieser Einrichtung die zufälligen Unregelmässigkeiten in der Structur des Krystalls mit weniger Wahrscheinlichkeit störend auf die regelmässige Bildung der Ringe wirkten. Da solche Beleuchtungslinsen auch gegenwärtig noch an den Turmalinzangen vorkommen, so möge darauf hingewiesen werden — was HERSCHEL versäumt zu erwähnen aber sicherlich sehr wohl gekannt hat —, dass diese Linsen allein nicht den gewünschten Zweck erfüllen, sondern dass hierzu auch eine Lichtquelle von kleiner Apertur erforderlich ist. Man darf also, um die erwähnten Vortheile zu erreichen, keineswegs mit einer solchen Turmalinzange nahe an das Fenster treten und das Wolkenlicht des ganzen Himmels auf die Linse fallen lassen, sondern man muss vielmehr eine Lichtquelle von kleiner scheinbarer Öffnung z. B. eine Lampe in etwa 1 m Entfernung zur Beleuchtung verwenden oder vom Fenster recht weit zurücktreten und auf diese Weise ein kleines Stück des Himmels anvisiren. Ich habe geglaubt, hierauf hinweisen zu dürfen, da es vielleicht manchem Beobachter bei dem Gebrauch derartiger Turmalinzangen ebenso wie dem Verfasser ergangen ist.

Anmerkung 2 (zu p. 408). Widerspruch zwischen Fernrohrvergrösserung und Limbustheilung bei

¹ Lehrbuch der Experimentalphysik. 4. Aufl. 2. 1883. p. 596.

² SCHWEIGG. Journ. 49. 1827. p. 171. Taf. I.

³ On the Theory of Light. London 1828; deutsche Übersetzung von 1831. p. 486—488. Taf. IX Fig. 178; — s. auch GEHLER's Physik. Wörterbuch. 7. 1833. p. 787. Taf. IX Fig. 99.

einigen Axenwinkelapparaten. Zu einer ungefähren Vorstellung über den Widerspruch zwischen Einstellungsgenauigkeit des Fernrohres und Ablesungsgenauigkeit des Theilkreises bei dem DES CLOIZEAUX'schen Axenwinkelapparat kann man auf folgende Weise gelangen. Die Apertur des Fernrohres beträgt etwa 125° und der Durchmesser der Bildebene etwa 20—25 mm; dieses Bild wird durch eine Lupe von 67 mm Brennweite betrachtet, wobei das Auge in etwa 70 mm Entfernung vom Ocular liegen mag. Es erscheint daher die ganze Bildebene wie ein Kreis von etwa 9 cm Durchmesser im Abstand der deutlichen Sehweite. In diesem Kreis müsste, wenn man auf einzelne Bogenminuten genau einstellen wollte, mindestens der 60×125 ste d. i. der 7500ste Theil des Durchmessers erkennbar sein. Man müsste also innerhalb der deutlichen Sehweite auf mindestens $\frac{9}{60 \times 125}$ cm oder auf den 80sten Theil eines Millimeters einstellen können, was bei der Beschaffenheit der Bilder, sowie beiläufig bemerkt auch des Fadenkreuzes, ganz unmöglich ist. Die wirkliche Einstellungsgenauigkeit dürfte, auch bei guten Präparaten, etwa 10mal geringer sein, so dass also alle Messungen DES CLOIZEAUX's, soweit sie mit diesem Instrument ausgeführt sind (und die Vergrößerung des Beobachtungsfernrohres durch Entfernung der Frontlinse und entsprechende Verschiebung des Fadenkreuzes nicht abgeändert wurde), höchstens auf Zehntelgrade genau sein können. Wenn die Einzelablesungen um kleinere Winkel von einander abweichen, so beruht das auf Zufälligkeiten, die bei einer grossen Zahl von Ablesungen an verschiedenen Präparaten sich, wie ich vermuthen möchte, zu erkennen gegeben hätten. Der Bau unserer Netzhaut erlaubt eben nicht, mit einem so stark verkleinernden Fernrohr, wie es der NÖRRENBERG-DES CLOIZEAUX'sche Apparat besitzt, auf mehr als Zehntelgrade genau einzustellen. Die besten neueren Instrumente, welche nach den Angaben von LIEBISCH und GROTH von FUESS construirt worden sind, besitzen Theilkreise mit einer directen Ablesungsgenauigkeit von halben Bogenminuten und einer sicheren Schätzung von viertel Bogenminuten. Die Instrumente haben ausserdem sehr genaue und kostbare Vorrichtungen für die Fein-

bewegung des Limbus und für die Centrirung des Krystalls. Mit dieser Feinheit des Instrumentes stimmt aber wieder die Ablesungsgenauigkeit des etwa $2\frac{1}{2}$ —4fach verkleinernden Fernrohres nicht überein. Mit einem solchen Fernrohr lässt sich nur auf viertel Bogenminuten bei äusserst günstiger Beschaffenheit der „Objecte“, wie sie in den verwaschenen Umrissen der Interferenzbilder niemals vorliegen, einstellen. Auch bei diesen Apparaten entspricht also das Beobachtungsfernrohr mehr einem Demonstrationsinstrument, während die übrigen Theile durchaus den Charakter eines feinen Messinstrumentes tragen.

Anmerkung 3 (zu p. 410). Aequivalentbrennweite des Objectivs des GROTH-NÖRRENBERG'schen Apparates. Nach meinen Messungen hat das 4theilige Objectiv des Fernrohres und ebenso das 4theilige Convergencesystem des Collimators des GROTH-NÖRRENBERG'schen Apparates eine Aequivalentbrennweite für centrale Strahlen von 10,9 mm. Die Hauptebenen H_I und H_{II} dieser dem ganzen System äquivalenten Linse, stehen 3,6 mm von einander ab (Fig. 3 Taf. VII); vorderer und hinterer Brennpunkt haben also einen Abstand von 25,4 mm. Die Berechnung dieser Aequivalentbrennweite aus den Brennweiten der einzelnen 4 Linsen, welche ebenfalls bestimmt wurden, steht damit in vollkommenem Einklang. Diese Maasse lassen sich, wenn man die Genauigkeit nicht über 0,1 mm treiben will, nach der ABBE'schen Idee¹, nämlich das Verhältniss von Gegenstand und Bildgrösse in verschiedenen Abständen der Linsen zu ermitteln, auf sehr einfache Weise erhalten. Die von der Linse oder den vereinigten Linsen erzeugte Vergrösserung oder Verkleinerung einer in Millimeter getheilten Elfenbein-Scala wurde mittelst einer in 0,05 mm getheilten und photographirten, durch eine starke Lupe betrachteten Scala gemessen. Herr Prof. Dr. OBERBECK gestattete mir, die Messungen im hiesigen physikalischen Institut auszuführen. Ohne diese genauen Brennweitenbestimmungen wäre es nicht möglich gewesen, den Vorgang in den Instrumenten zur Beobachtung der Erscheinungen im

¹ cf. z. B. KOHLRAUSCH, Leitfaden der prakt. Physik. 8. Aufl. 1896. p. 207.

convergenten Licht in der Weise zu verfolgen, wie es hier geschehen ist; ich fühle mich daher Herrn Prof. Dr. OBERBECK für sein liebenswürdiges Entgegenkommen zu ergebenstem Dank verpflichtet.

Die Bestimmung der Brennweite für Randstrahlen lässt sich nicht auf die obige Weise ausführen, da eine sehr starke Änderung von Zone zu Zone stattfindet; streng genommen kann man hier überhaupt nicht von einer Brennweite reden. Zu einem ungefähren Näherungswerth, wie er für die vorliegende Betrachtung genügen dürfte, gelangt man auf folgende Weise: Bewegt man das Collimator- und Objectivsystem gegeneinander, bis die Frontlinsen 3 mm von einander abstehen, so übersieht man ein Axenbild von etwa 122° . Die unter diesem Winkel austretenden optischen Axen (oder Lemniscaten) liegen dann in der Bildebene des Objectivs etwa 20 mm von einander entfernt und die Strahlenbüschel, welche diese äussersten randlichen Theile des Interferenzbildes erzeugen, laufen ziemlich genau parallel der Fernrohraxe. Der Abstand des vorderen und hinteren „Brennpunktes“ der randlichen Strahlen misst etwa 24 mm, so dass die Aequivalentbrennweite etwa $5\frac{1}{2}$ mm beträgt und die Hauptebenen H_I und H_{II} dieses den Randstrahlen äquivalenten Systems etwa 13 mm von einander abstehen (Fig. 1 und 2 Taf. VII). Das Bild ist also trotz der verschiedenen Brennweite für centrale und randliche Strahlen sehr wenig gewölbt (Vorthail mehrerer Linsen).

Anmerkung 4 (zu p. 413). Aequivalentbrennweite des Objectivs des LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparates. Das kleinere Objectiv des LIEBISCH-FUESS'schen Axenwinkelapparates besteht aus einer planconvexen, nahezu halbkugeligen Linse von 4,9 mm Dicke. Die Brennweite beträgt für centrale Strahlen 14,5 mm und der Abstand der Hauptebenen, von denen bekanntlich bei planconvexen Linsen die eine durch den Scheitel der gewölbten Fläche geht, misst 1,6 mm. Nimmt man einen Brechungsexponenten des Glases von 1,517 an (gewöhnliches Silicat-Crown No. 13; O. 227 von SCHOTT und Genossen), so hat die gekrümmte Fläche einen Radius von 7,5 mm. Die grösste Öffnung der Linse beträgt etwa 14 mm. Stellt man Objectiv und Collimatorlinse um ihre doppelte Brennweite von einander entfernt auf, so

erhält man ein Gesichtsfeld von etwa 30° . Die beiden Planflächen der Linsen befinden sich dann im Abstand von 22,4 mm. Nähert man die Linsen, so dass die Planflächen etwa 15 mm von einander abstehen, so erhält man ein Gesichtsfeld von etwa 56° .

Um nun die Betrachtung an diesen Linsen in ähnlicher Weise wie an den viertheiligen Systemen des GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparates mit den Strahlen 1—5 und I—V durchzuführen, bedarf es noch einer Bestimmung der Brennweite für randliche Strahlen. Diese Bestimmung lässt sich hier, auch wenn nur ein Näherungswerth erreicht werden soll, nicht so einfach wie bei dem 4theiligen System des GROTH-NÖRRENBURG'schen Apparates finden, weil eine sehr starke Wölbung des Bildes auftritt¹ und auch das Maass dieser Wölbung wegen der sehr schlechten Beschaffenheit der randlichen Bilder nicht genau gemessen werden kann. Da aber Radius und Brechungs-exponent als bekannt vorausgesetzt werden, so lässt sich die Brennweite von Zone zu Zone auf rechnerischem und zeichnerischem Wege wenigstens für sehr schmale Lichtbündel finden. Dabei sehe ich von der astigmatischen Brechung natürlich ab, da es sich hier nur um Näherungswerthe handelt, mit deren Hilfe eine ungefähre Vorstellung über die Art des Ganges der Lichtstrahlen gewonnen werden soll.

In Fig. 7 Taf. VIII ist eine solche planconvexe Linse in 5facher Vergrößerung gezeichnet. Der Brennpunkt für centrale Strahlen liegt in F. Es sind dann ferner 3 Strahlenbündel gezeichnet, von denen das mittlere unter 5° , das untere unter 15° und das obere unter 28° auf die Planfläche auffällt. Jedes Strahlenbündel ist in 9 Einzelstrahlen aufgelöst, von denen der mittlere nach seinem Durchgang durch die Linse genau parallel der Axe austritt. Aus der Zeichnung ersieht man, dass selbst bei diesen schmalen Bündeln, die an der Planfläche der Linse in Wirklichkeit nur einen Durchmesser von 1,6 mm haben würden, bei richtiger Beleuchtung des Apparates aber noch viel schmaler sind und zu äusserst dünnen Lichtfäden zusammenschrumpfen, von einem eigentlichen Brennpunkt

¹ Vergl. auch die Figur bei CZAPSKI, dies. Jahrb. Beil.-Bd. 7. 1891. p. 507.

nur noch bei den unter 5° auffallenden Strahlen die Rede sein kann. Für solche Apertur ist die Brennweite unbedeutend kürzer als für centrale Strahlen. Für die anderen Strahlen von grösserer Apertur lässt sich näherungsweise eine Art von Brennweite auf die Weise berechnen, dass man die Lage des Schnittpunktes des parallel austretenden Strahles mit dem nächst benachbarten Strahl durch Rechnung ermittelt. Dieser Schnittpunkt hat bei den Strahlen von $2 \times 15^\circ$ Einfallswinkel einen ungefähren Abstand von 10,9 mm, bei den Strahlen von $2 \times 28^\circ$ einen Abstand von etwa 5,9 mm von der Linsenoberfläche. Für die Strahlen von $2 \times 5^\circ$ berechnet sich dieser Abstand auf etwa 14,1 mm und ist demnach nahezu gleich der Brennweite. Für die Construction der Strahlen 1—5 und I—V ist es nun noch wünschenswerth, an Stelle der gekrümmten Linsenfläche eine Art von Hauptebene einführen zu können, welche eine Construction nach GAUSS'scher Methode erlaubt. Zu einer derartigen Hilfsebene kann man auf folgende Weise gelangen. Aus der Zeichnung ergibt sich, dass die auf die Planfläche auffallenden und aus der gekrümmten Fläche austretenden Strahlen nach vorn und hinten verlängert, sich in Punkten H_0 bis H_4 schneiden, welche nahezu auf einer durch H_0 gehenden Verticale liegen. (In Fig. 7 Taf. VIII sind diese Linien nicht richtig copirt. Die concave Seite sollte nach links liegen.) Eine solche Verticale möge als einzige Hauptebene für die weitere Construction angenommen werden. Dieselbe würde für die Strahlen von $2 \times 28^\circ$ Apertur in etwa 1,5 mm von der Planfläche sich befinden und der Abstand des Brennpunktes von dieser Fläche betrüge dann etwa 6,9 mm.

Anmerkung 5 (zu p. 417). V. v. LANG's und GROTH's Erklärung der Linsen e und e_1 diesseits und jenseits des Polarisators. Die beiden diesseits und jenseits des Polarisators angebrachten Beleuchtungslinsen sind meines Wissens zum erstenmal von V. v. LANG 1871 erwähnt worden¹, als er einen von NÖRRENBERG construirten Apparat mit 2 NICOL'schen Prismen und grossem Gesichtsfeld beschrieb. Die beiden Linsen haben nach dieser Beschreibung die äussere 40, die innere 50 mm Brennweite und stehen nach der in wirklicher

¹ KARL's Repertorium. 7. 1871. p. 377—379. Taf. 21.

Grösse ausgeführten Zeichnung um erheblich weniger als ihre doppelte Brennweite, nämlich nur um etwa 70 mm (Hauptebene von Hauptebene) von einander ab. Das zwischen beiden befindliche Nicol'sche Prisma lässt sich in der Richtung des Rohres verschieben und auch noch um eine horizontale Axe drehen, damit seine Stellung so gewählt werden könne, „wie es die Feinheit und Ausdehnung des Gesichtsfeldes erfordert“. Eine weitere Erklärung dieser Beleuchtungsvorrichtung ist hier nicht gegeben. GROTH macht darüber in der Arbeit von 1872¹ folgende Angaben: „Das Licht wird durch einen gewöhnlichen Spiegel a (S)² in das Nicolrohr b (f), welches in dem Rohr c (g) verschiebbar ist, reflectirt; das erstere enthält einen grossen Nicol d (p) zwischen 2 gleichen Linsen e e¹, deren Brennpunkte in der Mitte von b (f) zusammenfallen, so dass der ganze, auf die untere Linse fallende Strahlencylinder, in einen Kegel verwandelt, durch den Nicol hindurch gelangen kann.“ Der Vorgang, wie ihn GROTH hier 1872 beschreibt, ist auf p. 57, 68 und 45 der 1., 2. und 3. Auflage seiner Physik. Krystallographie skizzirt, wo es sich um die Beobachtung im parallelen Licht handelt. Bei der Erläuterung des Vorgangs für die Beobachtung im convergenten Licht, wie er auf p. 59, 69 und 47 gezeichnet ist, wird aber der Gang der Lichtstrahlen im Einlassrohr nicht verfolgt, „weil der wahre Gang der Lichtstrahlen zwischen l, l und s wegen der Brechung in den Linsen ein anderer und zwar derart ist, dass alle vom Spiegel auf die untere Linse parallel auffallenden Strahlen nach ihrem Austritt aus der oberen wieder einander parallel, natürlich aber alsdann Bestandtheile verschiedener, auf c, d, e u. s. f. auffallender Lichtkegel werden.“ Diese Erklärung ist nun, wie man aus Fig. 4 und 5 Taf. VII ersehen kann, nicht ganz richtig. Die auf die Ebene KK auffallenden Parallelstrahlen I und 1, II und 2, III und 3 etc. nehmen keineswegs ihren Ursprung vor der äusseren Linse wieder in Parallelstrahlen. Dies würde nur der Fall sein, wenn Ebene KK und LL gleichweit von den Linsen e und e₁,

¹ Pogg. Ann. 144. 1872. p. 38.

² Die in Klammer beigefügten Buchstaben beziehen sich auf Fig. 593, p. 619 der 2. und Fig. 662, p. 701 der 3. Auflage der GROTH'schen Physik. Krystallographie.

und zwar um deren Brennweite abständen, und wenn ferner auch der Einfluss des NICOL'schen Prismas auf die Brennweite (s. Anmerkung 6) berücksichtigt würde. Fig. 6 Taf. VII zeigt, wie die Linsen e und e_1 zum Polarisator liegen müssten, damit der Gang der Strahlen so erfolgte, wie ihn GROTH sich vorstellt. Hier entsprechen in der That Parallelstrahlen, welche die Ebene KK durchlaufen, auch Parallelstrahlen, welche von auswärts auf die Linse e auffallen. Zwei solcher Strahlen sind in der Fig. 6 stark ausgezogen. Wenn man aber hier annehmen wollte, dass jeder Punkt der Ebene KK von einem Lichtkegel getroffen werde, dessen Spitze in eben dieser Ebene und dessen Basis in der äusseren Beleuchtungslinse e liege, so wäre dazu wieder ein sehr grosser Polarisator nothwendig, wenn er auch bei Anwendung der Linsen e und e_1 um ein Geringes kleiner sein könnte, als ohne diese Linsen. Diese Verhältnisse sind ebenfalls aus Fig. 6 zu ersehen. Abgesehen davon, dass die Verschiebung durch den Kalkspathkörper in Bezug auf die Stellung der Linsen bei den Instrumenten nicht berücksichtigt ist, steht die Linse e_1 viel näher an der Ebene KK , als dies nach der GROTH'schen Vorstellung der Fall sein sollte. Allerdings erlaubt die Construction des Apparates die Stellung dieser Linse gegen die Ebene KK zu verändern; aber wenn man derartige Veränderungen während der Beobachtung vornimmt, so gelangt man auf ein Gebiet des Hin- und Hertastens, welches nicht leicht die günstigsten Bedingungen für die Stellung der Linsen herausfinden lässt. Man muss hierbei bedenken, dass der Abstand des eigentlichen Collimatorsystems vom Fernrohr-objectiv ebenfalls den Strahlengang wesentlich beeinflusst.

Anmerkung 6 (zu p. 417). Einfluss der Kalkspathmasse des Polarisators auf den Gang der Lichtstrahlen. Die beiden Linsen e und e_1 haben je eine Brennweite von 53 mm, eine Dicke von etwa 7 und eine Öffnung von etwa 34 mm; die zugekehrten Oberflächen stehen um ihre doppelte Brennweite, die zugekehrten Hauptebenen also um 100 mm von einander ab. Ich entnehme diese Maasse einer Zeichnung von LIEBISCH¹, welche das

¹ LÖWENHERZ, Ber. über d. wissensch. Instr. auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879. p. 343.

Instrument in $\frac{1}{3}$ der wirklichen Grösse darstellt, sowie einem Apparat des hiesigen physikalischen Institutes. In Fig. 4 und 5 Taf. VII ist, um die Figur symmetrisch und daher übersichtlicher zu machen, ein Polarisator mit geraden Endflächen angenommen, also z. B. ein Polarisator HARTNACK-PRAZMOWSKY'scher oder GLAN-THOMPSON'scher Construction. Ferner ist darauf Rücksicht genommen, dass die Brennweite der Linsen durch die eingeschaltete Kalkspathmasse eine ziemlich erhebliche Veränderung erfährt. Nach DUC DE CHAULNES beträgt bekanntlich diese Veränderung $h = d \frac{n-1}{n}$, wo d die Dicke der planparallelen Platte und n der Brechungs-exponent ist. Die Formel gilt allerdings nur für Strahlen, welche einen kleinen Winkel mit der Plattennormale bilden; immerhin kann sie auch hier, wo die Verhältnisse nicht so günstig liegen, zu einem ungefähren Näherungswerthe für die Verlängerung der Brennweite führen. Wenn die Lichtbüschel den Polarisator mit der dem ausserordentlichen Strahl zukommenden Brechung durchliefen, so würde bei einer Länge dieses Polarisators von 50 mm eine Bildverschiebung von etwa 16 mm eintreten; für den ordentlichen Strahl ergäbe sich eine Verschiebung von etwa 20 mm. Da nun die meisten Strahlen die polarisirenden Prismen mit einer mittleren Brechung durchlaufen, so habe ich in den Zeichnungen eine Verschiebung von 18 mm angenommen.

Anmerkung 7 (zu p. 425). Dimensionen der Hilfs-linse im Fernrohr mit veränderlicher Vergrößerung. Die Dimensionen der verschiebbaren Hilfslinse müssen sich zunächst nach der Grösse des primären Bildes richten. Ich will für letzteres einen Durchmesser von etwa 12 mm annehmen. Die Hilfslinse sollte dann eine etwas grössere Öffnung besitzen, da die Strahlenkegel, welche die einzelnen Bildpunkte erzeugen, von der Fadenkreuzebene aus nach dieser Hilfslinse hin divergiren. Bei der Auswahl lag es am nächsten, an die STEINHEIL'schen aplanatischen Lupen (biconvexe Crown Glaslinse zwischen zwei Flintglasmenisken) zu denken, welche sich durch relativ grosse Öffnung auszeichnen. Bei den angegebenen Dimensionen des Objectivs wäre unter den bei STEINHEIL vorrätigen Linsen No. 95 mit einer freien

Öffnung von 22 mm und einer Brennweite von 61 mm erforderlich¹. In den äussersten Lagen würde das secundäre Bild 381 mm von dem primären Bild entfernt sein, wie dies aus der Formel $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, wo $b = 4a$ und $f = 61$ ist, folgt. Nimmt man hierzu noch den Raum, welchen Objectiv und Ocular in Anspruch nehmen, so erhielte man eine Gesamtlänge des Fernrohres von etwa 460 mm, wodurch die Handhabung des Instrumentes natürlich sehr erschwert würde. Ich wandte mich deshalb an die ZEISS'sche optische Werkstätte in Jena, um eine derartige, nach STEINHEIL'schem Princip construirte Lupe mit kleineren Krümmungsradien und demnach grösserer Apertur zu erhalten. Solche Lupen werden nun seit einiger Zeit bereits hergestellt, ohne dass man anzugeben wüsste, wer dieselben zuerst vorgeschlagen hat. CZAPSKI hebt als Verbesserung der Lupen die grössere Dicke der Crown Glaslinse hervor², indessen ist diese grössere Dicke bei dem vorliegenden Zweck ein nothwendiges Übel, welches infolge der sehr starken Krümmung mit in den Kauf genommen werden muss, und wodurch der Brennpunkt näher an die äussere Glasfläche heranrückt. Die Form dieser STEINHEIL'schen Lupen erweiterter Construction ist eine höchst eigenthümliche und erinnert an eine Garnspule, wie aus den Querschnitten in Fig. 12—15 Taf. VIII und X zu ersehen ist. Um nun über jeden Theil des Ganges der Lichtstrahlen durch das Fernrohr vollkommen unterrichtet zu sein, wünschte ich Krümmungsradien und Brechungsexponenten der die Linsen zusammensetzenden Glassorten zu publiciren; indessen pflegen die optischen Werkstätten derartige Daten gleichsam als Geheimniss zu betrachten. So viel darf ich wohl bemerken, dass der Gang der Lichtstrahlen durch diese Lupen ähnlich wie bei den STEINHEIL'schen monocentrischen Mikrometer-ocularen³ zu erfolgen scheint. Was die Krümmungsradien der

¹ C. A. STEINHEIL Söhne, Preisliste über Instrumente für Astronomie und Physik. 1894. p. 10.

² CZAPSKI in WINKELMANN's Handbuch der Physik. 2; auch separat erschienen als: Theorie der optischen Instrumente nach ABBE. Breslau 1893. p. 210.

³ C. A. STEINHEIL Söhne, l. c. p. 6.

gewöhnlichen STEINHEIL'schen Lupen betrifft, so giebt HEATH an¹, dass die inneren Flächen ungefähr doppelt so stark gekrümmt seien, wie die äusseren. Hiernach sind die Linsen in den Bildern entworfen. Die für die Construction der Lichtstrahlen nach GAUSS'scher Methode erforderlichen Fundamentalwerthe der Hilfslinse sind nach meinen Bestimmungen:

Dicke der Linse	24,0 mm
Aequivalente Brennweite	23,4 "
Brennpunkt vor der Glasfläche	13,3 "
Abstand der GAUSS'schen Hauptebenen von einander . .	3,8 "
Äusserste Breite der Linse	21,0 "

Von der Breite werden in diesem Fall nur etwa 16 mm in Anspruch genommen, so dass diese Linse für den vorliegenden Zweck also auch ohne den grössten Theil der vorspringenden Ränder hergestellt werden könnte (vergl. Fig. 3 p. 433). Die Linse scheint symmetrisch gebaut zu sein.

Anmerkung 8 (zu p. 429). Wunsch nach einer zwei- oder dreifach verkitteten Linse von etwa 46°—48° Apertur und möglichst geringer Dicke. Dimensionen des Objectivs im Fernrohr mit veränderlicher Vergrösserung. Wenn auch der Aufsatz von REUSCH schon Aufschluss darüber giebt², dass der Gang der Lichtstrahlen durch das Fernrohrobjectiv eines Axenwinkelapparates Ähnlichkeit mit dem Gang der Lichtstrahlen durch ein Ocular zeigt, so will ich hier nochmals darauf hinweisen. Wenn diese Verhältnisse nämlich von einem mit der Praxis der Linsenconstruction vertrauten Optiker berücksichtigt werden, so möchte ich glauben, dass es möglich ist, für diese Zwecke einigermaassen achromatische und aplanatische Linsen von noch etwas grösserer Apertur (vielleicht 46°—48°) herzustellen. Ähnliche Gesichtspunkte kämen dann auch für die verschiebbare Hilfslinse in Betracht. Um nicht wieder den Einwänden zu begegnen, welche mir von verschiedenen Optikern gemacht wurden, als ich sie bat, mir nach dem angegebenen Princip ein Fernrohr mit 16fach veränderlicher Vergrösserung zu construiren, will ich hervorheben, dass es sich nicht darum handelt,

¹ Lehrbuch der geometrischen Optik; deutsche Ausgabe von КАНТНАК. Berlin 1894. p. 278.

² Ber. d. 34. Vers. d. Naturf. u. Ärzte. Karlsruhe 1858. p. 160—163.

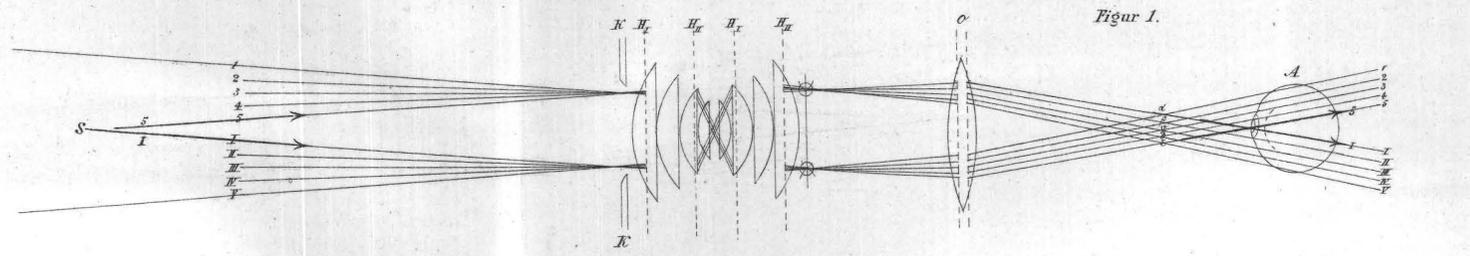
etwa ein Fernrohr von der Vergrößerung 1 in ein 16fach vergrößerndes, oder gar ein Fernrohr von der Vergrößerung 10 in ein 160fach vergrößerndes umzuwandeln und dabei noch alle Schärfe der Bilder zu bewahren. Hier handelt es sich im Wesentlichen um verkleinernde Fernrohre, deren Linsen nur innerhalb einer Apertur von etwa 10° einigermaßen achromatisch und aplanatisch sein sollen, darüber hinaus aber, etwa bis zu einer Apertur von 46° — 48° , viel weniger gute Abbildungen geben dürfen¹. Ich möchte also einen ähnlichen Wunsch, wie ihn REUSCH am Schluss seiner Arbeit vor 40 Jahren PETZVAL gegenüber äusserte, an die mit der Praxis der Linsenconstruction vertrauten Herren richten und sie bitten, uns eine zwei- oder dreifach verkittete Linse von möglichst grosser Apertur und möglichst geringer Dicke zu construiren.

Die STEINHEIL'sche Lupe erweiterter Construction hat nach meinen Bestimmungen folgende Grundmaasse:

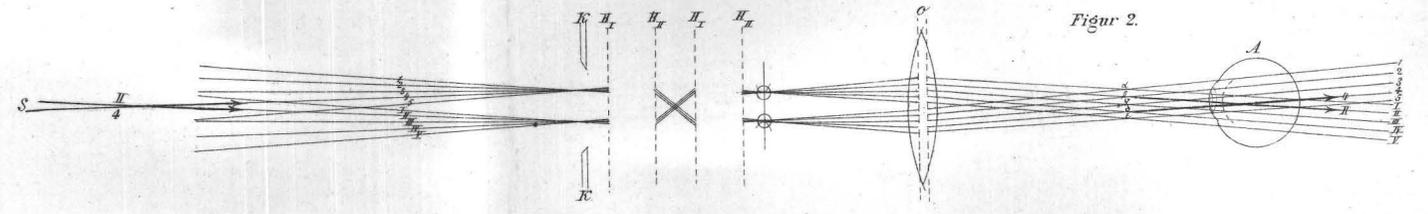
Dicke der Linse	18,6 mm
Aequivalente Brennweite	17,6 „
Brennpunkt vor der Glasfläche	9,7 „
Abstand der GAUSS'schen Hauptebenen von einander	2,8 „
Ausserste Breite der Linse	15,6 „

Von der Breite kommen im vorliegenden Fall nur etwa 12 mm zur Verwendung. Dementsprechend kann auch diese Linse ohne den grössten Theil der vorspringenden Ränder hergestellt werden (vergl. Fig. 3 p. 433). Die Linse scheint symmetrisch gebaut zu sein.

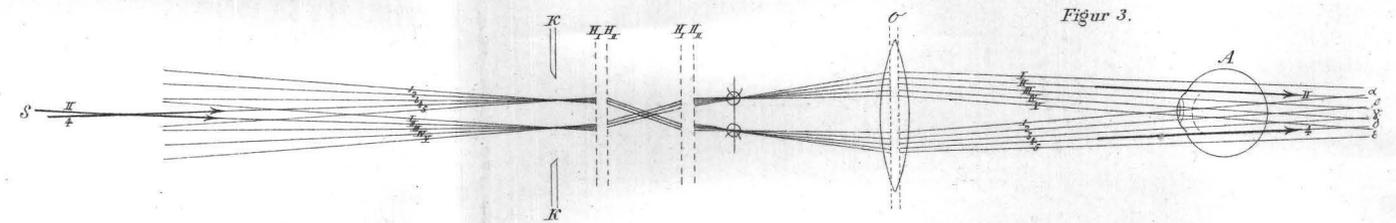
¹ Soweit ich der Ausführung CZAPSKI's (dies. Jahrb. Beil.-Bd. 7. 1891. p. 506—515) zu folgen vermag, scheint er die Schärfe der Bilder für das ganze Gesichtsfeld als eine der zu erfüllenden Forderungen hinzustellen.



Figur 1.

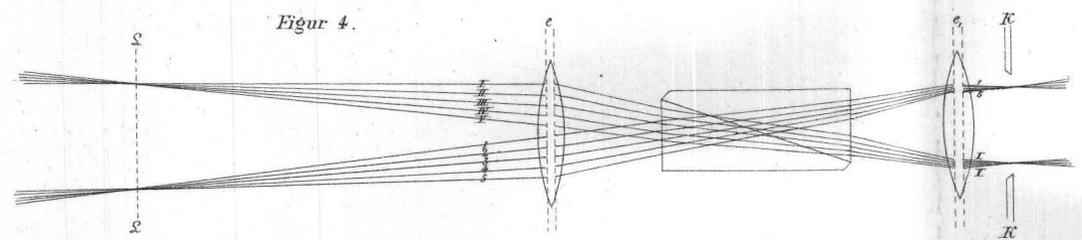


Figur 2.

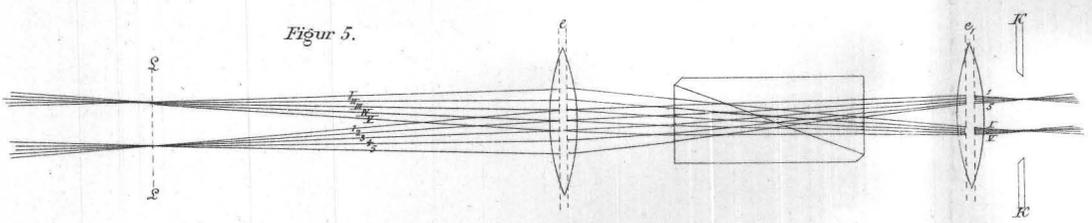


Figur 3.

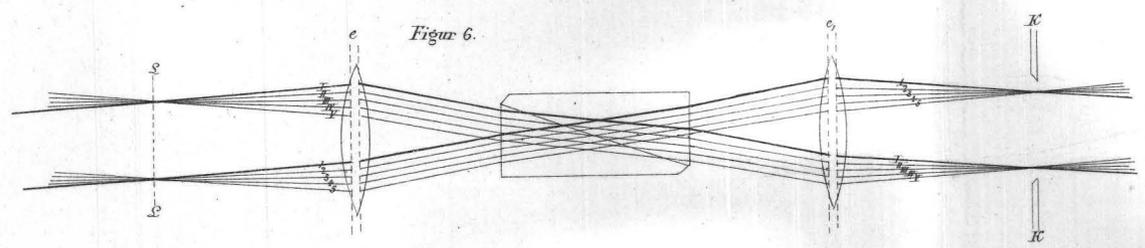
Wegen der Verkleinerung der Bilder sind in Figur 1, 2, 3 auf dieser Tafel und in Figur 8 auf Tafel IX von den fünf durchgehenden Strahlen in der Mitte nur drei gezeichnet.



Figur 4.

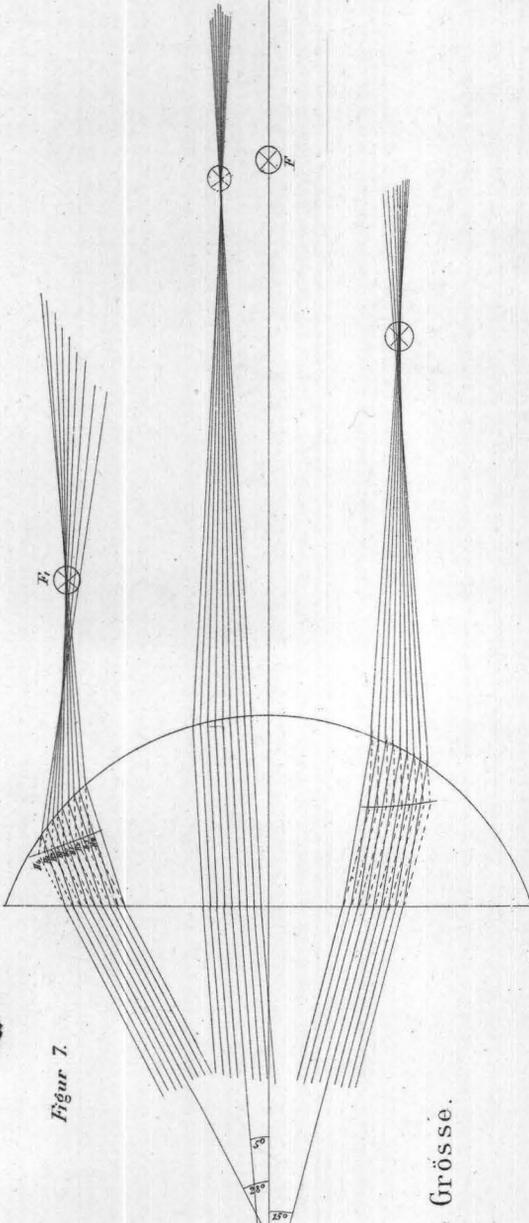


Figur 5.



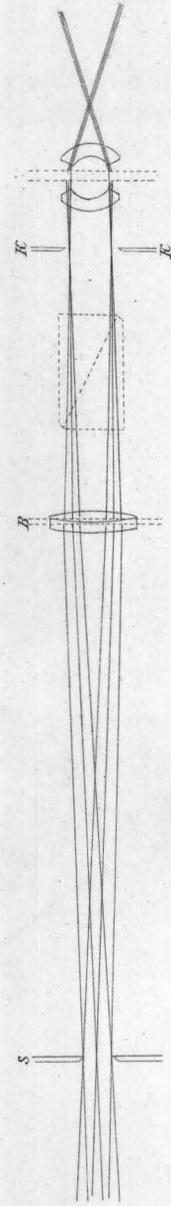
Figur 6.

1/2 der wirklichen Grösse.



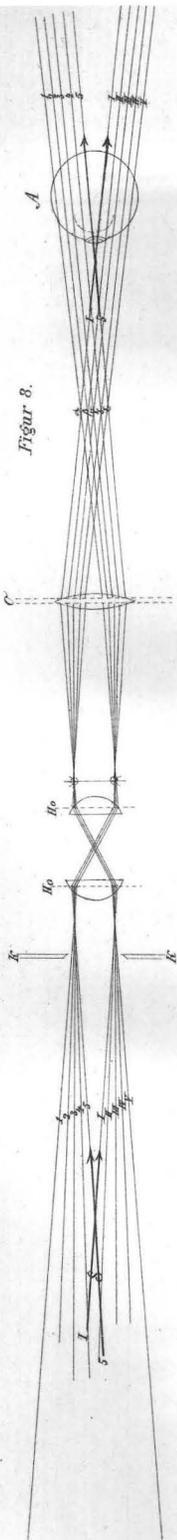
Figur 7.

5 fache Grösse.

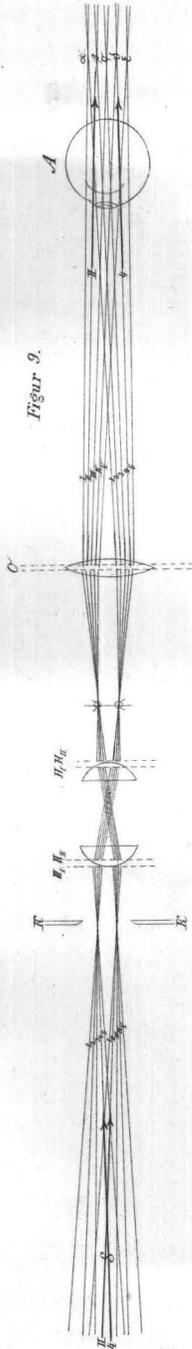


Figur 2.

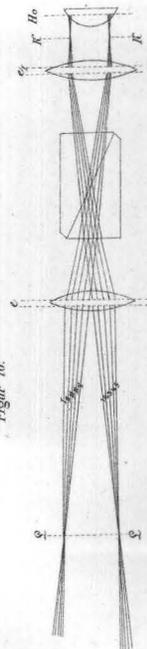
1/2 der wirklichen Grösse.



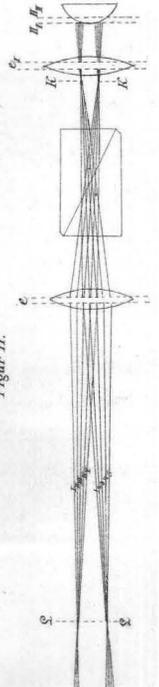
Figur 8.



Figur 9.



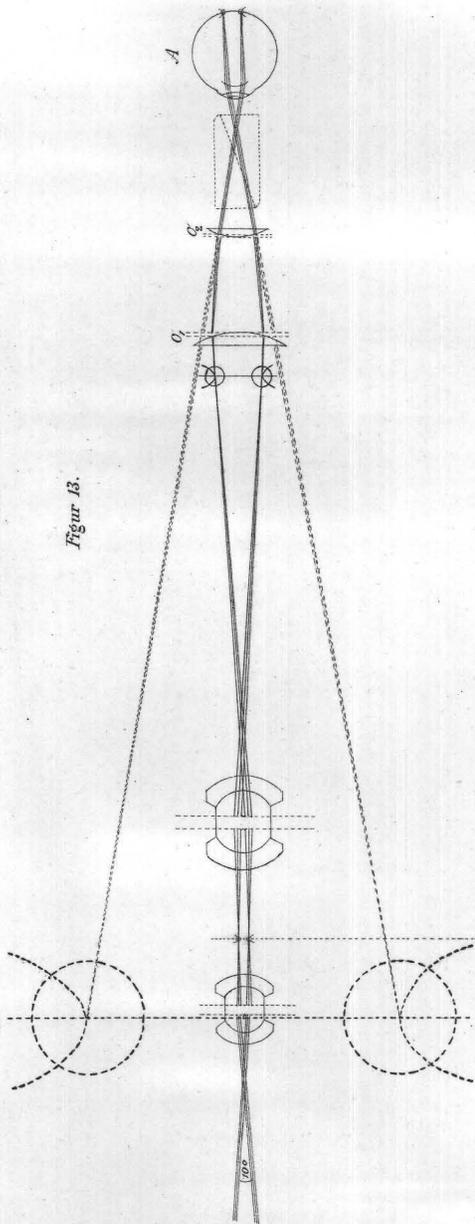
Figur 10.



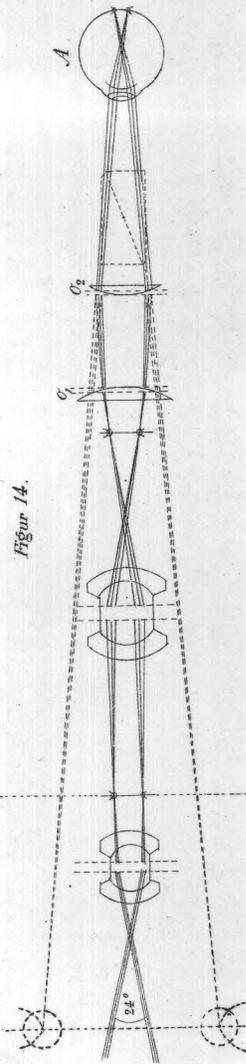
Figur 11.

$\frac{1}{2}$ der wirklichen Grösse.

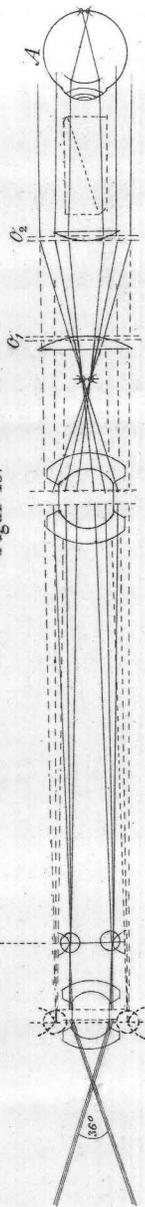
Figur 13.



Figur 14.



Figur 15.



½ der wirklichen Grösse.